S. 804. B. 156

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT DE FRANCE

TOME XVIII

PARIS

GAUTHIER-VILLARS

IMPRIMEUR-LIBRAIRE DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER

QUAI DES AUGUSTINS, 55

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT

DE FRANCE.

TOME XVIII.

S. 804. B.

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT

DE FRANCE.

TOME XVIII.

PARIS,

TYPOGRAPHIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, 56.

—

1842.

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT

DE FRANCE.

TOME XVIII.

PARIS,

IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, 56.

1842.

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS

DANS LE DIX-HUITIÈME VOLUME

DE LA NOUVELLE COLLECTION DES MÉMOIRES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

Éloge historique de F. Cuvier, par M. Flourens, secrétaire perpétuel..... j

Pages.

Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps cristallisés, par M. Poisson..... 3

Mémoire sur la polarisation rectiligne et la double réfraction, par M. Augustin Cauchy..... 153

Observations sur les ascidies composées des côtes de la Manche, par M. Milne Edwards..... 217

Mémoire sur la chaleur animale, par M. Dulong..... 327

Pages.

Recherches chimiques sur la végétation, par M. Boussingault..... 345

Remarques sur certains phénomènes dont le principe est dans l'organe de la vue; ou fragments du Journal d'un observateur atteint d'une maladie des yeux, par M. de Savigny..... 385

Notice sur l'efficacité du moxa et sur les inconvénients du galvanisme dans certaines névroses ou affections paralytiques, par M. le baron Larrey..... 417

Observations sur la circulation des fluides chez le *chara fragilis Desvaux*, par M. Dutrochet..... 439

Considérations sur les progrès de l'éducation des vers à soie, depuis le commencement du siècle, par M. le comte de Gasparin..... 515

Mémoire sur la polarisation lamellaire, par M. Biot..... 539

Nouvelles notes sur le cambium, extraites d'un travail sur l'anatomie de la racine du dattier, par M. de Mirbel..... 727

Mémoire sur l'extirpation des glandes salivaires (la parotide et la sous-maxillaire), nécessitée par l'engorgement scrofuleux et squirreux de ces glandes, par M. le baron Larrey..... 807

FIN DE LA TABLE DU DIX-HUITIEME VOLUME.

ÉLOGE HISTORIQUE

DE

F. CUVIER,

PAR M. FLOURENS, SECRÉTAIRE PERPÉTUEL.

Lu à la séance publique du 13 juillet 1840.

Parmi les hommes auxquels nos *Éloges* sont consacrés, il en est qui, par des travaux brillants, ont acquis, de bonne heure, une grande célébrité; et, pour ceux-là, notre voix n'est, en quelque sorte, que l'écho de la reconnaissance publique. Mais il en est d'autres qui, s'étant voués à des travaux plus modestes, sont aussi beaucoup moins connus.

Nos *Éloges* ne sont pas alors moins utiles. Ils indiquent des sources de savoir qui seraient peut-être restées ignorées; ils sauvent des noms respectables d'un oubli qui serait injuste. Et ces dernières considérations prennent encore plus de force, lorsqu'il s'agit d'un homme qui, comme celui dont je dois parler aujourd'hui, après avoir passé trente années d'une vie laborieuse, livré aux études les plus profondes, est mort, laissant des observations éparses plutôt

qu'un corps de doctrine, et des matériaux plutôt qu'un ouvrage.

Frédéric Cuvier, membre de l'Académie des sciences, de la Société royale de Londres, et frère de Georges Cuvier, naquit à Montbéliard le 28 juin 1773.

Son frère était né le 23 août 1769. Ainsi, Frédéric était le plus jeune des deux, et de quatre ans le plus jeune.

Dès qu'il eut atteint l'âge des premières études, il suivit son frère au collége de Montbéliard. Mais le moment où son esprit devait se développer, n'était pas venu. Il ne vit alors, de ces premières études, que le côté aride; il finit même par les abandonner tout à fait pour se mettre en apprentissage chez un horloger.

Une secrète impulsion le portait vers la mécanique. Sa curiosité que les études ordinaires du collége n'avaient pas éveillée, une expérience de physique, une machine nouvelle l'excitaient au plus haut degré. On ne sait jusqu'où il aurait pu aller en ce genre, si des circonstances plus fortes ne l'avaient bientôt détourné de la mécanique pour l'attacher à l'histoire naturelle.

En effet, son frère Georges, après les plus brillants succès, obtenus d'abord au collége de Montbéliard et ensuite à l'université de Stuttgard, après trois années passées à Fécamp, petite ville de Normandie, « au milieu, » je me sers de ses propres expressions, déjà citées dans son *Éloge* (1),

(1) Voyez mon *Éloge historique de Georges Cuvier:* Mémoires de l'Académie des sciences, t. XIV.

« au milieu des productions les plus variées que la mer et « la terre semblaient lui offrir à l'envi, » arrivait à Paris en 1795.

Cette même année, il publiait son mémoire sur la distribution des *animaux à sang blanc*, et l'année suivante son mémoire sur les *éléphants fossiles*. Par le premier, il changeait la face de la zoologie ; il annonçait, dans le second, ses grandes vues sur les animaux détruits par les révolutions du globe; et lorsqu'il écrivait ces deux mémoires, il avait à peine vingt-six ou vingt-sept ans : génie qui n'étonne pas moins par sa précocité que par son éclat, dont les deux premiers essais créent, à la fin du dix-huitième siècle, les deux branches de l'histoire naturelle qui occuperont le plus les naturalistes du dix-neuvième, la *paléontologie* et l'*anatomie des animaux sans vertèbres*, et dont il semble qu'on puisse dire ce que Fontenelle a dit de Newton : « Qu'il n'a pas été donné « aux hommes de voir le Nil faible et naissant. »

Chacun sait comment ces grands travaux portèrent rapidement M. Cuvier aux postes les plus élevés de la science. L'Académie, le Jardin des Plantes, le Collége de France, s'empressèrent de l'adopter. Et, de son côté, à peine vit-il sa position assurée qu'il se hâta d'appeler auprès de lui son père et son frère, c'est-à-dire, tout ce qui lui restait de sa famille, car il avait perdu sa mère en 1793.

A la voix de son frère, M. F. Cuvier se rendit à Paris, vers la fin de 1797.

Il n'y fut pas plutôt, qu'un monde nouveau s'ouvrit devant lui. Il s'aperçut de tout le temps qu'il avait perdu; il s'en

16

aperçut sans doute avec amertume, et cependant il ne se découragea point. On le voit, dès son arrivée, suivre les cours de physique, de chimie, d'histoire naturelle. En 1801, il se joint à M. Biot pour des recherches sur *les propriétés de la pile voltaïque*, recherches qui ont donné un résultat important. En 1802, il se charge de la rédaction principale du *Journal de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.*

Mais des circonstances plus fortes devaient bientôt, comme je l'ai déjà dit, donner à son activité une direction plus fixe. Il était impossible de vivre auprès de M. Cuvier, et d'y vivre journellement, familièrement, dans l'intimité fraternelle, sans devenir naturaliste. C'est même par un travail, entrepris d'abord pour son frère, que M. F. Cuvier fit ses premiers pas dans l'histoire naturelle.

La collection d'anatomie comparée, commencée par Buffon et par Daubenton, recevait alors de M. Cuvier ces grands développements qui en ont fait une création nouvelle. M. Cuvier voulut en avoir le catalogue, et c'est à MM. F. Cuvier et Duvernoy qu'il le demanda.

M. F. Cuvier fut chargé de la description des squelettes; et telle a été la première origine de son grand ouvrage sur *les dents des mammifères*, ouvrage qui est devenu fondamental en zoologie. C'est, en effet, l'étude la plus complète des *caractères* tirés des dents ; c'est l'application la plus habile de ces *caractères* à la formation des *genres*. Par cette application habile, M. F. Cuvier a presque tout changé dans plusieurs ordres de mammifères, nommément dans les *carnassiers* et dans les *rongeurs ;* et ces changements qu'il a

opérés, sont adoptés aujourd'hui par presque tous les zoologistes.

Mais un travail d'un autre genre, et le travail sans contredit le plus important, le plus original, de M. F. Cuvier, ce sont ses observations sur l'instinct et l'intelligence des animaux ; observations qui n'intéressent pas moins le philosophe que le naturaliste, et auxquelles il a consacré trente années d'études suivies et consciencieuses.

M. F. Cuvier fut chargé, en 1804, de la direction immédiate de la ménagerie du Muséum d'histoire naturelle.

Jamais position n'avait été plus favorable, sans doute, pour l'étude des facultés et des actions des animaux; mais aussi jamais observateur n'a-t-il plus fait pour cette branche de l'histoire naturelle que M. F. Cuvier.

Les anciens n'avaient rassemblé des animaux que pour les donner en spectacle dans les jeux publics. On eut, en créant Versailles, une idée plus grande. On voulut que les animaux qu'on y réunissait, servissent à la science. C'est de la ménagerie de Versailles que Perrault et Duverney tirèrent les premiers matériaux de cet édifice de l'anatomie comparée, commencé il y a vingt siècles par Aristote, recommencé par eux sur de nouvelles bases, et depuis élevé si haut par les travaux successifs de Daubenton, de Camper, de Vicq-d'Azyr, de Georges Cuvier.

En 1794, lorsque la ménagerie de Versailles fut transportée à Paris, et réunie au Jardin des Plantes, elle devint plus utile encore. Trois naturalistes célèbres, Georges Cuvier, Lacépède et M. Geoffroy Saint-Hilaire, publièrent alors, sous le titre de *Ménagerie du Muséum national*, le premier ou-

vrage où des naturalistes français se montrassent enfin jaloux de maintenir dans l'histoire naturelle cette grande manière de Buffon, qui jusque-là n'avait été imitée que par un naturaliste étranger, par le seul Pallas.

Enfin, lorsque la ménagerie de Versailles, devenue la ménagerie du Muséum, fut confiée, en 1804, à M. F. Cuvier, il ne tarda pas à en faire sortir une utilité nouvelle. Il continua d'abord, à l'exemple des trois naturalistes que je viens de citer, l'histoire positive des espèces; et tel est même le principal objet de sa grande *Histoire des mammifères*, ouvrage où plus de cinq cents quadrupèdes sont représentés et décrits avec un détail et une exactitude dont il n'y a peut-être pas un seul autre exemple en zoologie, du moins pour un travail de cette étendue.

Mais je reviens à cette utilité nouvelle que M. F. Cuvier sut tirer de la ménagerie du Muséum d'histoire naturelle, je veux dire à cette étude des facultés et des actions des animaux, commencée par Buffon, continuée par Georges Leroy, l'auteur ingénieux des *Lettres philosophiques sur les animaux*, publiées d'abord sous le nom du *Physicien de Nuremberg*, et portée enfin au point de précision où elle est aujourd'hui par les travaux de M. F. Cuvier.

Pendant plus d'un siècle, depuis Descartes jusqu'à Buffon (1), la question de l'intelligence des animaux n'avait été qu'une question de pure métaphysique. C'est à Buffon, c'est à Georges Leroy qu'elle commence à devenir une question

(1) C'est-à-dire, depuis le *Discours sur la méthode*, publié en 1637, jusqu'au *Discours sur la nature des animaux*, publié en 1753.

positive et d'expérience. C'est ce qu'elle est surtout dans M. F. Cuvier.

Averti, par ses premiers travaux, de son talent pour l'observation, M. F. Cuvier s'est dévoué à la recherche des faits. Mais il a voulu des faits nets, distincts, des faits séparés par des limites précises. Et ceci même nous fournit le trait le plus caractéristique de l'esprit qui a dirigé sa marche. Il a cherché des faits et des limites.

Il a cherché les limites qui séparent l'intelligence des différentes espèces, les limites qui séparent l'instinct de l'intelligence, les limites qui séparent l'intelligence de l'homme de celle des animaux. Et, ces trois limites posées, tout, dans la question si longtemps débattue de l'intelligence des animaux, a pris un nouvel aspect.

Descartes et Buffon refusent aux animaux toute intelligence; c'est qu'il leur répugne, et avec raison, d'accorder aux animaux l'intelligence de l'homme, c'est qu'ils ne voient pas la limite qui sépare l'intelligence de l'homme de celle des animaux.

D'un autre côté, Condillac et Georges Leroy accordent aux animaux jusqu'aux opérations intellectuelles les plus élevées; c'est qu'ils se fondent sur des actions qui, en effet, si elles appartenaient à l'intelligence, exigeraient ces opérations, c'est qu'ils ne voient pas la limite qui sépare l'instinct de l'intelligence.

Le premier résultat (1) des observations de M. F. Cuvier

---

(1) Voyez, pour le développement de ces *résultats*, que je me borne à

marque les limites de l'intelligence dans les différentes espèces. Buffon avait déjà donné une idée générale de l'échelle graduée des *facultés intérieures* des animaux. Mais il ne considérait encore que les principales divisions du règne.

M. F. Cuvier va beaucoup plus loin. Dans la classe même des mammifères, il voit l'intelligence s'élever et croître d'un *ordre* à l'autre : des *rongeurs* aux *ruminants*, des *ruminants* aux *pachydermes*, et des *pachydermes* aux *carnassiers* et aux *quadrumanes*.

De tous les animaux, celui qui montre le plus d'intelligence est l'*orang-outang*. L'*orang-outang*, étudié par M. F. Cuvier, se plaisait à grimper sur les arbres. Faisait-on semblant de vouloir monter à l'arbre sur lequel il était perché pour aller l'y prendre, il secouait aussitôt cet arbre avec force pour effrayer la personne qui s'approchait. L'enfermait-on dans un appartement, il en ouvrait la porte ; et, s'il ne pouvait aller jusqu'à la serrure, car il était fort jeune, il montait sur une chaise pour y atteindre. Enfin, lorsqu'on lui refusait ce qu'il désirait vivement, il se frappait la tête sur la terre, il se faisait du mal pour inspirer plus d'intérêt et de compassion. C'est ce que fait l'homme lui-même lorsqu'il est enfant, et ce qu'aucun animal ne fait, si l'on excepte l'*orang-outang*, et l'*orang-outang* seul entre tous les autres.

Mais voici quelque chose de plus remarquable encore.

C'est que l'intelligence de l'*orang-outang*, cette intelligence si développée, et développée de si bonne heure, dé-

---

indiquer ici, mon *Résumé analytique des Observations de M. F. Cuvier sur l'instinct et l'intelligence des animaux*. (Journal des Savants, année 1839.)

croît avec l'âge. L'*orang-outang*, lorsqu'il est jeune, nous étonne par sa pénétration, par sa ruse, par son adresse; l'*orang-outang*, devenu adulte, n'est plus qu'un animal grossier, brutal, intraitable. Et il en est de tous les *singes* comme de l'*orang-outang*. Dans tous, l'intelligence décroît à mesure que les forces s'accroissent. L'animal, considéré comme être perfectible, a donc sa borne marquée non-seulement comme espèce, il l'a comme individu. L'animal qui a le plus d'intelligence, n'a toute cette intelligence que dans le jeune âge.

Après avoir posé les limites qui séparent l'intelligence des différentes espèces, M. F. Cuvier cherche la limite qui sépare l'*instinct* de l'*intelligence*. Ici, c'est particulièrement sur le castor que ses observations portent.

Le castor est un mammifère de l'ordre des *rongeurs*, c'est-à-dire, de l'ordre même qui a le moins d'intelligence, ainsi que nous avons vu; mais il a un instinct merveilleux, celui de se construire une cabane, de la bâtir dans l'eau, de faire des chaussées, d'établir des digues, et tout cela avec une industrie qui supposerait, en effet, une intelligence très-élevée dans cet animal, si cette industrie dépendait de l'intelligence.

Le point essentiel était donc de prouver qu'elle n'en dépend pas; et c'est ce qu'a fait M. F. Cuvier. Il a pris des castors très-jeunes; et ces castors, élevés loin de leurs parents, et qui par conséquent n'en ont rien appris; ces castors, isolés, solitaires; ces castors qu'on avait placés dans une cage, tout exprès pour qu'ils n'eussent pas besoin de bâtir; ces castors ont bâti, poussés par une force machinale et aveugle, en un mot, par un pur instinct.

L'opposition la plus complète sépare l'*instinct* de l'*intelligence*.

Tout, dans l'*instinct*, est aveugle, nécessaire et invariable; tout, dans l'*intelligence*, est électif, conditionnel et modifiable.

Le castor qui se bâtit une cabane, l'oiseau qui se construit un nid, n'agissent que par *instinct*.

Le chien, le cheval, qui apprennent jusqu'à la signification de plusieurs de nos mots et qui nous obéissent, font cela par *intelligence*.

Tout, dans l'*instinct*, est inné : le castor bâtit sans l'avoir appris; tout y est fatal : le castor bâtit, maîtrisé par une force constante et irrésistible.

Tout, dans l'*intelligence*, résulte de l'expérience et de l'instruction : le chien n'obéit que parce qu'il l'a appris; tout y est libre : le chien n'obéit que parce qu'il le veut.

Enfin, tout, dans l'*instinct*, est particulier : cette industrie si admirable que le castor met à bâtir sa cabane, il ne peut l'employer qu'à bâtir sa cabane; et tout, dans l'*intelligence*, est général : car cette même flexibilité d'attention et de conception que le chien met à obéir, il pourrait s'en servir pour faire toute autre chose.

Il y a donc, dans les animaux, deux forces distinctes et primitives : l'*instinct* et l'*intelligence*. Tant que ces deux forces restaient confondues, tout, dans les actions des animaux, était obscur et contradictoire. Parmi ces actions, les unes montraient l'homme partout supérieur à la brute, et les autres semblaient faire passer la supériorité du côté de la brute. Contradiction aussi déplorable qu'absurde! Par la distinction qui sépare les actions aveugles et nécessaires des actions électives et conditionnelles, ou, en un seul mot,

l'*instinct* de l'*intelligence*, toute contradiction cesse, la clarté naît de la confusion : tout ce qui, dans les animaux, est *intelligence*, n'y approche, sous aucun rapport, de l'intelligence de l'homme, et tout ce qui, passant pour *intelligence*, y paraissait supérieur à l'intelligence de l'homme, n'y est que l'effet d'une force machinale et aveugle.

Il ne reste plus à poser que la limite même qui sépare l'intelligence de l'homme de celle des animaux.

Ici les idées de M. F. Cuvier s'élèvent, et, tout en s'élevant, n'en paraissent pas moins sûres.

Les animaux reçoivent par leurs sens des impressions semblables à celles que nous recevons par les nôtres; ils conservent, comme nous, la trace de ces impressions; ces impressions conservées forment, dans leur intelligence comme dans la nôtre, des associations nombreuses et variées; ils les combinent, ils en tirent des rapports, ils en déduisent des jugements; ils ont donc de l'intelligence.

Mais toute leur intelligence se réduit là. Cette intelligence qu'ils ont ne se considère pas elle-même, ne se voit pas, ne se connaît pas. Ils n'ont pas la *réflexion*, cette faculté suprême qu'a l'esprit de l'homme de se replier sur lui-même, et d'étudier l'esprit.

La *réflexion*, ainsi définie, est donc la limite qui sépare l'intelligence de l'homme de celle des animaux. Et l'on ne peut disconvenir, en effet, qu'il n'y ait là une ligne de démarcation profonde. Cette pensée qui se considère elle-même, cette intelligence qui se voit et qui s'étudie, cette connaissance qui se connaît, forment évidemment un ordre de phénomènes déterminés, d'une nature tranchée, et auxquels nul animal ne saurait atteindre. C'est là, si l'on peut ainsi dire, le

monde purement intellectuel, et ce monde n'appartient qu'à l'homme. En un mot, les animaux sentent, connaissent, pensent; mais l'homme est le seul de tous les êtres créés à qui ce pouvoir ait été donné de sentir qu'il sent, de connaître qu'il connaît, et de penser qu'il pense.

Ne pouvant indiquer ici que les résultats principaux des observations de M. F. Cuvier, je cours aux faits les plus neufs, les plus importants; et ces faits même je ne les rappelle que d'une manière rapide et en quelques mots.

On avait beaucoup exagéré l'influence des sens sur l'intelligence. Helvétius va jusqu'à dire que l'homme ne doit qu'à ses mains sa supériorité sur les bêtes. M. F. Cuvier montre, par l'exemple du phoque, que, dans les animaux même, ce n'est pas des *sens extérieurs*, mais d'un organe beaucoup plus profond, beaucoup plus interne, mais du cerveau, que dépend le développement de l'intelligence. Le phoque n'a que des sens très-imparfaits (la vue, le goût, l'odorat, l'ouïe); il n'a que des nageoires au lieu de mains, et cependant il a, relativement aux autres mammifères, une intelligence très-étendue.

On sait tout ce que Buffon a dit de la magnanimité du lion, de sa fierté, de son courage, et de la violence du tigre, de son insatiable cruauté, de sa férocité aveugle. Malgré tout ce que Buffon a dit, M. F. Cuvier a toujours vu, dans ces deux animaux, le même caractère : tous deux également susceptibles d'affection, de reconnaissance, et tous deux également terribles dans leur fureur.

Helvétius, philosophe, cherche un principe, et il y arrive par une généralisation forcée; Buffon, écrivain, peint, dans

les animaux, toutes les nuances des passions des hommes. L'observation nue de M. F. Cuvier donne le fait tel qu'il est, et pose les seules bases solides de la science.

Jusqu'à lui, les naturalistes n'avaient vu, dans la *domesticité des animaux*, qu'un résultat très-général de la puissance de l'homme sur les bêtes. Il a montré que la *domesticité des animaux*, ce fait si important dans l'histoire même de l'homme, tient à une circonstance très-spéciale, à leur *sociabilité*.

Il n'est pas, en effet, une seule espèce devenue *domestique* qui, naturellement, ne vive en société et par troupes; et, de tant d'espèces solitaires que l'homme n'aurait pas eu moins d'intérêt sans doute à s'associer, il n'en est pas une seule qui soit devenue *domestique*.

L'homme, en forçant les animaux à lui obéir, ne change donc point leur *état naturel*, comme l'a dit Buffon ; il profite, au contraire, de cet *état naturel*. En d'autres termes, il avait trouvé les animaux *sociables*, et il les a rendus *domestiques*.

Et ici même je ne puis m'empêcher de faire remarquer un trait qui caractérise, mieux que tout ce que je pourrais dire, le genre de sagacité qui était propre à M. F. Cuvier, et qui lui a tant servi dans l'analyse délicate des phénomènes compliqués qu'il étudiait. Je veux parler de la distinction qu'il établit, distinction tout à la fois si juste et si profonde, entre l'animal *domestique* et l'animal que l'on *apprivoise*.

L'homme peut apprivoiser jusqu'aux espèces les plus solitaires et les plus farouches. Il apprivoise l'ours, le lion, le tigre. Et cependant aucune de ces espèces solitaires, quelque facile qu'elle soit à apprivoiser, n'a jamais donné de race *domestique*.

La *domesticité de l'animal* n'est donc qu'une conséquence de sa nature même, et de ce qu'il y a de plus intime dans sa nature, de son *instinct*.

On conçoit aisément, et sans qu'il soit besoin de le dire, tout ce que des vues aussi élevées sur les causes premières de la *domesticité des animaux* pourront avoir d'utilité, si on les applique un jour à l'agriculture et à l'industrie.

M. F. Cuvier pensait que plusieurs espèces nouvelles pourraient être facilement ajoutées aux *espèces domestiques* que nous avons déjà, nommément le *daw*, l'*hémione*, parmi les solipèdes, le *tapir* parmi les pachydermes, la *vigogne* parmi les ruminants, etc.

Je ne fais qu'indiquer ces idées aux hommes, amis éclairés du bien public, qui sentent que l'agriculture est trop négligée parmi nous, et qui commencent à s'apercevoir qu'un de ses premiers besoins, et le premier peut-être, serait d'avoir des races domestiques plus fortes et plus variées.

M. F. Cuvier avait été nommé, en 1810, inspecteur de l'Académie de Paris; il fut nommé inspecteur général de l'Université en 1831. Il porta dans cette autre carrière la même conscience d'honnête homme, le même coup d'œil profond, la même habitude des pensées utiles; et il nous a laissé une trace précieuse de tout cela dans son beau travail sur l'*enseignement de l'histoire naturelle dans nos colléges*.

Rollin, cet homme qui avait tant médité sur l'instruction de la jeunesse, et dont on ne saurait trop rappeler la mémoire, proposait déjà, vers le commencement du dernier siècle, d'introduire l'histoire naturelle dans les colléges. Il voulait qu'on appliquât les enfants à l'étude de ces phéno-

mènes, « dont ils seront toujours, disait-il, d'autant plus « surpris qu'ils acquerront plus d'intelligence. »

L'ouvrage de Pluche parut alors. Ce fut le premier fruit de la pensée de Rollin, et peut-être le seul; car, pour voir l'histoire naturelle pénétrer dans l'instruction publique, du moins d'une manière générale, il faut venir jusqu'à la création des écoles centrales.

Mais, à cette époque, l'histoire naturelle qui pénètre dans nos écoles, est l'histoire naturelle avec tout ce qu'elle a de grand et de difficile, c'est l'histoire naturelle avec ses nomenclatures savantes, avec ses méthodes abstraites. Or, comme le remarque très-bien M. F. Cuvier, d'abord nos colléges actuels, même dans leurs plus hautes classes, ne répondent pas tout à fait aux écoles centrales, et ensuite cet enseignement des méthodes scientifiques, si utile pour les classes élevées, ne peut évidemment convenir aux classes inférieures.

Il faudrait donc, après plus d'un siècle de tâtonnements et d'expériences, revenir à la pensée de Rollin, qui voulait *deux histoires naturelles*, une pour les classes supérieures, et l'autre pour les classes inférieures. Il faudrait, en un seul mot, proportionner les études à l'âge.

Or, l'art de proportionner est l'art de graduer, de subordonner; et cette graduation, cette subordination des études est peut-être la seule chose qui manque aujourd'hui à notre enseignement des sciences naturelles, et la seule du moins qui pût en faire disparaître ces deux vices, inséparables de tout système qui n'est pas encore ordonné, je veux dire bien des doubles emplois et bien des vides.

Je viens de retracer les travaux de M. F. Cuvier; c'est

avoir fait connaître sa vie entière. Jamais, en effet, on n'a pu dire de personne avec plus de vérité que de lui, que la vie d'un savant est toute dans ses pensées et dans ses travaux.

Nommé, en 1804, garde de la ménagerie du Muséum, il a passé trente-quatre années dans cette retraite paisible, où il trouvait les deux choses qui font seules les travaux profonds : le temps et la méditation.

C'est là qu'il préparait sans bruit, sans étalage, mais aussi sans distraction, sans relâche, les bases de cette étude des facultés et des actions des animaux, qui, avant lui, comptait à peine pour une partie de l'histoire naturelle, et dont il a fait une science distincte, une science profonde, une science qui, soumettant à l'expérience des questions réputées jusque-là de pure philosophie, a réellement étendu le domaine de l'observation.

M. F. Cuvier portait dans la société une humeur facile, le tact le plus juste de toutes les convenances, une bonté rare, une bienveillance qui semblait naître de la sympathie et qui l'inspirait.

Son âme, tout à la fois douce et énergique, son caractère élevé, son cœur droit, ont laissé des souvenirs ineffaçables dans tous ceux qui l'ont connu. Ses amis, et je regrette de ne pouvoir les nommer, le pleurent aujourd'hui comme le jour où ils l'ont perdu.

Sa modestie surtout avait un charme particulier. Elle était si naturelle qu'il semblait que son mérite n'eût pas percé jusqu'à lui.

On peut croire qu'il ne pensa jamais à sa propre gloire, mais il était passionné pour celle de son frère. C'est pour ce frère qu'il vivait, c'est pour lui qu'il s'était fait naturaliste ; c'était un spectacle touchant, et qui avait fini par inspirer un respect général, que celui de cette amitié si tendre,

si complète, si dévouée, et qui, aujourd'hui même, de tous les souvenirs que réveille le nom de M. F. Cuvier, est peut-être le plus vif encore.

M. F. Cuvier fut nommé, le 24 décembre 1837, professeur au Muséum d'histoire naturelle. La chaire à laquelle il était appelé venait d'être créée, et elle l'avait été pour lui. M. de Salvandy, alors ministre de l'instruction publique, payait ainsi noblement, par une création utile, la dette du Muséum et de la science.

Mais c'est à ce moment même, c'est au moment où il allait enfin, ce qui avait toujours été son vœu le plus cher, enseigner la science qu'il avait fondée et à laquelle il avait dévoué sa vie, qu'il fut frappé de la maladie terrible à laquelle il a succombé.

Il est mort à Strasbourg, le 24 juillet 1838.

Il s'occupait, avec son zèle accoutumé, de l'inspection des colléges de cette ville, lorsque, le 19 au soir, il ressentit les premiers coups de la maladie foudroyante qui, quatre jours après, l'avait enlevé.

On remarqua, entre cette maladie et celle à laquelle avait succombé son illustre frère, une analogie frappante. Ces deux hommes, qui avaient été si étroitement unis, et qui s'étaient si peu quittés, sont morts au même âge, de la même maladie, et avec la même sérénité d'esprit, la même intrépidité d'âme.

M. F. Cuvier calculait aussi, comme l'avait fait son frère, les progrès du mal; il les épiait, il les annonçait; il conservait, en mourant, toute sa pénétration comme observateur, et toute sa fermeté comme homme.

Son fils était parti de Paris à la première nouvelle qu'on

eut de sa maladie; mais, lorsqu'il arriva à Strasbourg, M. F. Cuvier n'était déjà plus.

Il était mort entre les bras de M. Dutrey, son compagnon de voyage et son collègue d'inspection, et de M. Duvernoy, l'ami de toute sa vie.

Ses dernières paroles ont été : « Que mon fils mette sur « ma tombe : *Frédéric Cuvier, frère de Georges Cuvier ;* » rappelant ainsi ses deux plus chères affections, et associant, par une dernière expression, les deux sentiments les plus forts de son âme, sa tendresse pour son fils et son admiration pour son frère.

NOTES.

Page ij. *Frédéric Cuvier*.....

Il s'appelait *Georges-Frédéric*. Je le nomme simplement *Frédéric* dans l'*Éloge*, pour le distinguer de son frère.

Page iv. *Il se joint à M. Biot pour des recherches sur la pile voltaïque, recherches qui ont donné un résultat important.*

Les auteurs reconnurent que le gaz oxygène de l'air était absorbé par la pile, et qu'il en augmentait les effets. Voyez M. Becquerel : *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. I, p. 117.

Ibid. *C'est par un travail entrepris pour son frère, qu'il fit ses premiers pas dans l'histoire naturelle.*

C'est aussi à la demande de son frère, que M. F. Cuvier s'occupa de son travail *sur nos races de chiens domestiques.*

Dans ce travail curieux, M. F. Cuvier, comparant les unes aux autres les races du *chien domestique*, vit changer la taille de l'animal, les proportions relatives du crâne et de la face, le nombre des vertèbres de la queue, etc. Les variations extrêmes furent une dent de plus ou de moins, soit à l'une, soit à l'autre mâchoire, c'est-à-dire, une dent qui avorte ou qui se développe, et un cinquième doigt plus ou moins complet au pied de derrière.

Ibid. *M. F. Cuvier fut chargé de la description des squelettes.*

Ou du moins d'une partie, nommément des squelettes des *carnassiers*

c.

et des *rongeurs*. Le squelette des autres mammifères devait être décrit par M. Duvernoy.

Ibid. *Telle a été la première origine de son grand ouvrage sur les* DENTS DES MAMMIFÈRES, *ouvrage qui est devenu fondamental en zoologie.*

Il y a même dans cet ouvrage, première étude approfondie des *caractères génériques* en zoologie, les résultats physiologiques les plus curieux.

Tous les *rongeurs* à dents molaires pourvues de racines proprement dites, ont un *cœcum* très-volumineux, et ils sont tous *herbivores;* tous les *rongeurs* à dents molaires dépourvues de racines, ou n'ont pas de *cœcum*, ou n'en ont qu'un petit, et ils sont tous *omnivores.*

Dans les animaux *carnivores*, le régime de l'animal se calcule, avec une précision presque mathématique, d'après la forme *tuberculeuse* ou *tranchante* des dents molaires.

Les *chats* (le *lion*, le *tigre*, la *panthère*, etc.) se nourrissent exclusivement de chair, presque toutes leurs dents sont *tranchantes.* Ils n'ont qu'une *tuberculeuse* à la mâchoire supérieure, la *tuberculeuse* inférieure avorte. Les *chiens* ont déjà deux *tuberculeuses* à chaque mâchoire, et ils peuvent se nourrir en partie de substances végétales. Enfin, le *raton*, le *coati*, l'*ours*, etc., ont presque toutes leurs dents *tuberculeuses*, et leur régime peut être entièrement frugivore.

Ces lois sont simples, claires, et tout le monde en sent la portée. Un seul caractère extérieur, la forme *tuberculeuse* ou *tranchante* des dents, donne, par la chaîne des rapports, la forme du canal intestinal, le régime, et jusqu'aux habitudes de l'animal, jusqu'à ses instincts. C'est la réalisation du mot célèbre de Duverney : *Qu'on me présente la dent d'un animal, et je dirai quelles sont ses mœurs.*

Ibid. *C'est l'application la plus habile des caractères tirés des dents à la formation des genres.*

Sous ce rapport, le principe fondamental est que : *Jamais un genre naturel*

ne contient des espèces dont les dents molaires diffèrent, ou, ce qui revient au même, que *les espèces dont les dents molaires diffèrent doivent former des genres différents.*

Et, tant qu'il ne s'agit que des genres, ce principe est sûr; mais quand l'auteur veut y soumettre des groupes plus élevés, quand, par exemple, il rompt, d'après la seule considération des dents, l'ordre des *animaux à bourse*, il paraît aller trop loin, et du moins n'obtient-il plus alors l'assentiment général des zoologistes.

Page vj. *Tel est le principal objet de sa grande* HISTOIRE DES MAMMIFÈRES...

M. F. Cuvier a fourni, par cet ouvrage, des bases qui seront éternelles pour *l'histoire* proprement dite des mammifères, comme il a fondé l'étude des *caractères génériques* dans cette classe du règne animal, d'abord par son grand travail sur les *dents*, et ensuite par ses recherches sur l'emploi des *formes de la tête osseuse* pour la formation des *genres*. Voyez, relativement à ce dernier point, son beau mémoire sur les *marmottes* et les *porcs-épics*, celui sur les *phoques*, et son *Histoire naturelle des cétacés*, ouvrage qui doit encore être cité comme un modèle de critique appliquée aux faits.

Ibid. *C'est à Buffon, c'est à Georges Leroy que la question de l'intelligence des animaux commence à devenir une question positive et d'expérience.*

Il faut citer ici le mémoire de Dupont de Nemours sur *l'instinct.* (*Mémoires sur différents sujets, la plupart d'histoire naturelle.*)

Dupont de Nemours cherche, après Condillac, après Georges Leroy, et tout aussi vainement, comme on peut bien croire, à faire rentrer l'*instinct* dans l'*intelligence.*

Condillac avait dit que *l'instinct est un commencement de connaissance.* Dupont de Nemours ne s'en tient pas là. Selon lui, les actions *attribuées à l'instinct*, sont « de toutes les actions, celles où la perception est la plus « vive, la logique la plus rigoureuse, la prévoyance la plus ingénieuse et

« la plus sûre. » Son *Mémoire*, publié il y a plus de trente ans, demanderait aujourd'hui un examen sérieux, et il en serait digne. En démêlant les faits distincts que Dupont de Nemours, comme presque tous ceux qui ont écrit sur cette matière, laisse confondus ensemble, cet examen serait sûrement utile.

Il faut citer aussi le mémoire de M. Dureau de la Malle sur le *développement des facultés intellectuelles des animaux domestiques*. (*Annales des sciences naturelles*, tome XXII.) Ce mémoire est plein de faits curieux.

Page vij. *Descartes et Buffon refusent aux animaux toute intelligence....*

Il y a, sur le système des *bêtes-machines* de Descartes, un *Dialogue* de Fénelon, où se trouvent des remarques très-fines. Voyez le *Dialogue* intitulé : Aristote et Descartes.

Descartes, voulant expliquer la *poursuite* du lièvre par le chien, suppose dans le chien des ressorts si délicats que, *touchés par les corpuscules du lièvre, ils tirent le chien vers le lièvre.*

« Mais (répond Aristote), quand ce chien est en défaut, et que ces « corpuscules ne viennent plus lui frapper le nez, qu'est-ce qui fait que « ce chien cherche de tous côtés jusqu'à ce qu'il ait retrouvé la voie ? »

Voyez, sur les systèmes de Descartes et de Buffon, mon *Résumé analytique des observations de M. F. Cuvier.* (*Journal des Savants*, année 1839.)

Page xij. *Je cours aux faits les plus neufs, les plus importants.....*

Un de ces faits, qui doit au moins être cité ici, est celui de la précision avec laquelle les petits de certains animaux *voient*, dès leur naissance.

« Dès que le petit vit le jour (article *Rhésus de dix-neuf jours*, Histoire « naturelle des Mammifères), il parut distinguer, dit M. F. Cuvier, les « objets et les regarder véritablement; il suivait des yeux les mouvements « qui se faisaient autour de lui, et rien n'annonçait qu'il eût besoin du tou- « cher pour apprécier, non pas l'effort qu'il aurait fallu qu'il fît pour at- « teindre les corps, mais la plus ou moins grande distance où ces corps

« étaient de lui..... Au bout de quinze jours environ, le petit commença « à se détacher de sa mère, et dès ses premiers pas, il montra une adresse « et une force qui ne pouvaient être dues ni à l'exercice, ni à l'expérience, « et qui montraient bien encore que toutes les suppositions qu'on a faites « sur la nécessité absolue du toucher, pour l'exercice de certaines fonc- « tions de la vue, sont illusoires.

« Le jeune (article *Bison. Ibid.*) avait, en naissant, la taille d'un veau du « même âge : à peine fut-il au jour, qu'il se leva sur ses jambes et alla, « presque en courant, sur tous les points de son écurie, sans se heurter, « et en se conduisant comme s'il eût connu les lieux par sa propre expé- « rience. »

On sait que les *singes*, les *ruminants*, etc., naissent les yeux ouverts. Dans la question, d'ailleurs si compliquée, des rapports de la *vue* et du *toucher*, il faudra donc faire entrer un élément de plus, celui des espèces, ou plutôt celui de l'état où se trouve l'*organe de la vue*, selon les espèces, dans les premiers moments où la vision s'exerce.

Page xiij. *La domesticité des animaux tient à leur sociabilité.*

Tous nos animaux *domestiques*, le *bœuf*, la *chèvre*, la *brebis*, le *cheval*, le *chien*, etc., sont, de leur nature, des animaux *sociables*.

Le chat semble, au premier coup-d'œil, faire une exception : mais le *chat*, animal très-*apprivoisé*, n'est pas un animal *domestique;* il *vit* auprès de nous, mais il ne *s'associe* pas à nous; il reçoit nos bienfaits, mais il ne nous rend pas, en échange, les services des espèces réellement *domestiques*. Voyez mon *Résumé analytique des observations de M. F. Cuvier*.

Page xxv. *Il faudrait revenir à la pensée de Rollin, qui voulait deux histoires naturelles.*

Ou, comme on s'exprimait alors, deux *physiques*. Rollin appelle l'une la *physique des enfants*, et l'autre, la *physique des savants*.

« J'appelle *physique des enfants*, dit-il, une étude de la nature qui ne « demande que des yeux..... Elle consiste à se rendre attentif aux « objets que la nature nous présente, à les considérer avec soin, à en

« admirer les différentes beautés, mais sans en approfondir les causes « secrètes, ce qui est du ressort de la *physique des savants.* »

La curiosité est, dans l'enfance, le premier ressort de l'intelligence. Et c'est pourquoi l'*histoire naturelle* conviendrait si fort à cet âge. Conduisez un enfant dans un *cabinet d'histoire naturelle :* il n'est rien qu'il ne voie, qu'il ne touche, sur quoi il ne vous interroge. On sent alors toute la profondeur de ce mot de Rollin, qui, bien compris, nous donnerait, en effet, tout le secret de l'éducation de l'enfance. « Il est inconcevable combien les enfants « pourraient apprendre de choses, si on savait profiter de toutes les « occasions qu'eux-mêmes nous en fournissent. » *Traité des études*, tom. II.

Page XVIIJ. *Que mon fils mette sur ma tombe : Frédéric Cuvier, frère de Georges Cuvier.....*

Ces paroles nous ont été conservées par M. Dutrey, dans son Discours sur la tombe de M. F. Cuvier.

LISTE DES OUVRAGES DE M. F. CUVIER.

FACULTÉS ET ACTIONS DES ANIMAUX.

Observations sur le *chien de la Nouvelle-Hollande*, précédées de quelques réflexions sur les facultés morales des animaux. *Annales du Muséum*, vol. XI. 1808.

Description d'un *Orang-outang*, et Observations sur ses facultés intellectuelles. *Annales du Muséum*, vol. XVI. 1810.

Observations sur les facultés physiques et intellectuelles du *Phoque commun* (*Phoca vitulina Linn*). *Annales du Muséum*, vol. XVII. 1811.

De l'*Instinct* des Animaux. Art. *Instinct* du *Dict. des Sc. natur.* Vol. XXIII. 1822.

Examen de quelques observations de M. DUGALD-STEWART, qui tendent à détruire l'analogie des phénomènes de l'*instinct* avec ceux de l'*habitude*. *Mémoires du Muséum*, vol. X. 1823.

De la *Sociabilité des Animaux*. *Mémoires du Muséum*, vol. XIII. 1825.

Essai sur la *Domesticité* des *Mammifères*, précédé de Considérations sur les divers états des Animaux, dans lesquels il nous est possible d'étudier leurs actions. *Mémoires du Muséum*, vol. XIII. 1825.

AJOUTEZ la plupart des articles de l'ouvrage qui suit (*Histoire naturelle des mammifères*), particulièrement l'article *castor d'Europe*, etc., etc.

ZOOLOGIE. — MAMMIFÈRES.

HISTOIRE NATURELLE DES MAMMIFÈRES; avec figures originales, coloriées, dessinées d'après des animaux vivants. 70 livraisons in-folio : de 1818 à 1837.

DES DENTS DES MAMMIFÈRES, *considérées comme caractères zoologiques*. 1825.

Partie de cet ouvrage avait déjà paru sous ce titre : *Essai sur de nouveaux caractères pour les genres des Mammifères*. *Annales du Muséum*, vol. XII-XIX. Années 1807, 8 et 12.

HISTOIRE NATURELLE DES CÉTACÉS. 1836.

Du *Rut*. *Annales du Muséum*, vol. IX. 1807.

— Description d'un *Papion* qui pourrait se rapporter à l'une des espèces décrites par Pennant (*Simia Leucophœa.*) *Annales du Muséum*, vol. IX. 1807.

— Du *Cercopithèque Cynocéphale* de Brisson, et du *Grand Papion* de Buffon. *Mémoires du Muséum*, vol. IV. 1818.

— Du *Macaque* de Buffon. *Mémoires du Muséum*, vol. IV. 1818.

— Essai de classification naturelle des *Vespertilions*, et description de plusieurs espèces de ce genre. *Nouvelles Annales du Muséum*, vol. I. 1832.

— Description d'un nouveau genre de *Chauve-souris*, sous le nom de *Furie*. *Mémoires du Muséum*, vol. XVI. 1828.

— Recherches sur les caractères ostéologiques qui distinguent les principales races du *Chien* domestique. *Annales du Muséum*, vol. XVIII. 1811.

— Du genre *Paradoxure*, et de deux espèces nouvelles qui s'y rapportent. *Mémoires du Muséum*, vol. IX. 1822.

— De quelques espèces de *Phoques*, et des Groupes génériques entre lesquels elles se partagent. *Mémoires du Muséum*, vol. XI. 1824.

— Description zoologique d'un *Phoque moine* femelle (*Phoca monachus*). *Annales du Muséum*, vol. XX. 1813.

— Recherches sur les rapports qui existent entre les animaux de la famille des *Écureuils*, c'est-à-dire, les *Tamias*, les *Macroxus*, les *Écureuils*, les *Sciuroptères* et les *Pteromys*. *Mémoires du Muséum*, vol. X. 1823.

— Considérations sur les Caractères génériques de certaines familles de Mammifères, appliqués aux *Marmottes* (*Arctomis Marmotta* et *Empetra*) et au *Souslik* (*Arctomis citillus*) ; — et formation du Genre *Spermophyle*. *Mémoires du Muséum*, vol. IX. 1822.

— Description des Caractères propres aux genres *Graphiure* (*Graphiurus*) et *Cercomys* (*Cercomys*). *Nouvelles Annales du Muséum*, vol. I. 1832.

— Description du *Saccomys anthophile* (*S. anthophilus*). *Mémoires du Muséum*, vol. X. 1823.

— Observations sur les genres *Gerbille* et *Gerboise*. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris*, vol. III, 1836. — *Trans. Soc. zool. de Londres*, vol. II, 1838.

— Description d'une nouvelle espèce de Rongeur, et établissement du Genre *Pœphagomys*. *Annales des sciences naturelles*, 2e série (*Zoologie*), vol. I. 1834.

— Caractères du genre *Plagiodonte*, et Description du Plagiodonte des habitations. (*Plagiodontia ædium.*) *Annales, idem* (*Zoologie*), vol. VI. 1836.

—Du genre *Eligmodonte*, et Description de l'*E.* de Buénos-Ayres. *Annales. idem* (*Zoologie*), vol. VII. 1837.

— Observations sur les *Rongeurs* du *Cap de Bonne-Espérance*, classés dans les genres *Bathyergue*, *Oryctère*, *Géorique*, etc. *Annales, idem*, 2e série (*Zoologie*), vol. I. 1834.

— Examen des espèces du genre *Porc-épic* (*Hystrix*); et formation des sous-genres : *Acanthion*, *Erethizon*, *Sinéthère*, et *Sphiggure*. *Mémoires du Muséum*, vol. IX. 1822.

— Recherches sur la structure et le développement des Épines du *Porc-épic*, suivies d'observations sur les *Poils* en général et sur leurs caractères zoologiques. *Nouvelles Annales du Muséum*, vol. I. 1832.

— Du genre *Paca* (*Cavia Paca Linn*). *Annales du Muséum*, vol. X. 1807.

— Essai sur les rapports des Espèces du genre *Cochon*, et Description des Dents de ces animaux. *Bulletin de la Société Philomatique*. 1810.

— Du *Sanglier à masque* et des *Phacochœres*. *Annales du Muséum*, vol. VIII. 1822.

— Note sur l'accouplement d'un *Zèbre* et d'un *Cheval*. *Annales du Muséum*, vol. XI. 1808.

Ajoutez les nombreux articles de *mammalogie*, insérés dans le *Dictionnaire des sciences naturelles*, particulièrement les articles : *chat*, *chèvre*, *cheval*, *chien*, etc.

ZOOLOGIE. — OISEAUX.

— Observations sur la structure et le développement des *Plumes*. *Mémoires du Muséum*, vol. XIII. 1825.

— Du *Pygargue* et de l'*Orfraye*. *Annales du Muséum*, vol. XIV. 1809.

— Observations sur quelques espèces de *Goëlands*. *Annales du Muséum*, vol. XI. 1808.

— Observations sur l'accouplement d'un *Cygne chanteur* mâle et d'une *Oie domestique* femelle. — Description du mulet qui en est provenu. *Annales du Muséum*, vol. XII. 1808.

PHYSIQUE ET CHIMIE.

— Sur quelques applications des sciences physiques et chimiques aux arts. *Mercure de France*, vol. XLI. 1801.

Mémoire sur quelques propriétés de l'*Appareil galvanique*. Première partie d'un travail étendu, dans lequel on se propose de déterminer les éléments de la *Pile galvanique*. Fait en commun avec M. BIOT. *Bulletin de la Société Philomatique*. 1801.

Sur le *Rouge à polir*. — *Bulletin de la Société Philomathique*. 1802.

INSTRUCTION PUBLIQUE.

Observations sur l'enseignement de l'histoire naturelle dans les colléges. 1838.

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT DE FRANCE.

MÉMOIRE

SUR

L'ÉQUILIBRE ET LE MOUVEMENT

DES CORPS CRISTALLISÉS.

PAR M. POISSON.

Lu à l'Académie, le 28 octobre 1839.

UNE *addition* à mon Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques, présentée à l'Académie en 1828, renferme les intégrales en quantités finies des équations aux différences partielles, d'où dépendent les petites vibrations d'un corps solide (*). Les inconnues du problème sont exprimées dans ces intégrales sous une forme qui convient à la propagation du mouvement dans un tel corps, autour de la portion, d'une petite étendue en tous sens, qui a été primi-

(*) *Mémoires de l'Académie*, tome VIII, page 623.

tivement ébranlée d'une manière quelconque. J'aurais pu en déduire immédiatement les lois de cette propagation; mais je me suis contenté alors d'annoncer que je le ferais incessamment; et c'est dans mon Mémoire sur la propagation du mouvement dans les milieux élastiques, lu à l'Académie en 1830(*), que j'ai développé les lois dont il s'agit.

J'ai considéré, dans ce Mémoire, la propagation du mouvement dans un fluide, en conservant à la question toute sa généralité, c'est-à-dire, en ne faisant point usage de l'hypothèse restrictive que l'on admet communément dans ce genre de problèmes, et qui peut cependant ne pas avoir lieu. Les lois de cette propagation auxquelles on parvient ne diffèrent point au reste essentiellement de celles que j'avais trouvées, quelques années auparavant, en m'appuyant sur cette hypothèse, mais en considérant, ce qu'on n'avait pas encore essayé jusque-là, le cas général où les molécules sont animées de vitesses diverses, dans les différentes directions autour de l'ébranlement primitif et à égales distances de cette petite portion du fluide. Quant à la propagation du mouvement dans un corps solide, j'ai reconnu qu'il s'y produit deux ondes sphériques autour du lieu du premier ébranlement, et qu'elles se propagent l'une et l'autre avec des vitesses constantes, dont le rapport est celui de la racine carrée de trois à l'unité, dans le cas où le corps est placé dans le vide, ou n'est soumis à aucune pression extérieure. Lorsque ces ondes sont parvenues à une distance de l'ébranlement primitif, assez grande par rapport à ses dimensions, les vitesses pro-

(*) *Mémoires de l'Académie*, tome X.

pres des molécules dans l'onde qui va le plus vite, sont perpendiculaires à sa surface ou dirigées suivant ses rayons ; mais il n'en est pas de même à l'égard de l'onde la plus lente : les vitesses des molécules y sont, au contraire, dirigées suivant sa surface ou perpendiculairement à ses différents rayons ; et, de plus, leurs vibrations n'y sont point accompagnées alternativement de dilatations et de condensations cubiques, contrairement à ce qui a lieu dans l'onde la plus rapide.

Ces résultats, que je rappelle ici d'une manière très-succincte, conviennent seulement aux corps solides non cristallisés. Dans ce nouveau Mémoire, je considérerai le cas beaucoup plus compliqué des corps cristallisés. Les équations de leur équilibre, et par suite celles de leur mouvement, sont au nombre de six qui renferment un pareil nombre d'inconnues. Dans le cas du mouvement, trois de ces inconnues se rapportent aux petites vibrations des molécules, et les trois autres à leurs petites oscillations sur elles-mêmes dont ces vibrations sont toujours accompagnées. On peut facilement éliminer les trois dernières inconnues, et l'on parvient ainsi à trois équations aux différences partielles du second ordre, d'où dépendent, à un instant quelconque, les distances suivant trois axes rectangulaires, des molécules à leurs positions d'équilibre dont elles ont été un tant soit peu écartées. Les lois de ces petits mouvements et de leur propagation sont moins simples, comme on devait s'y attendre, que celles qui se rapportent aux corps non cristallisés; on les trouvera exposées en détail dans le troisième et dernier paragraphe de ce Mémoire : le premier contient des notions préliminaires ; et le second renferme les six équations de l'équilibre et du mouvement, auxquelles on est parvenu sans faire aucune

supposition sur la forme des molécules, ni sur la constitution particulière du cristal.

Je présenterai à l'Académie, le plus tôt qu'il me sera possible, un autre Mémoire où se trouveront les lois des petites vibrations des fluides, déterminées d'après le principe fondamental qui distingue ces corps des solides, que j'ai exposé en plusieurs occasions (*), et dont il est indispensable de tenir compte, lorsque le mouvement se propage avec une extrême rapidité, ce qui rapproche en général les lois de cette propagation, de celles qui ont lieu dans les corps solides. J'appliquerai ensuite les résultats de ce second Mémoire à la théorie des ondes lumineuses, c'est-à-dire, aux petites vibrations d'un éther impondérable, répandu dans l'espace ou contenu dans une matière pondérable, telle que l'air ou un corps solide cristallisé ou non; question d'une grande étendue, mais qui n'a été résolue jusqu'à présent, malgré toute son importance, en aucune de ses parties, ni par moi dans les essais que j'ai tentés à ce sujet, ni selon moi, par les autres géomètres qui s'en sont aussi occupés.

§ I^er^. *Notions préliminaires.*

(1) Tous les corps sont formés de *molécules* disjointes, c'est-à-dire, de parties de matière pondérable, de grandeur insensible, séparées les unes des autres par des pores ou espaces vides, dont les dimensions sont aussi imperceptibles à nos sens. Chaque molécule renferme, en outre, une substance

(*) *Traité de mécanique*, n° 645.

impondérable que l'on appelle *calorique,* et à laquelle on attribue les phénomènes de la chaleur.

Les molécules sont si petites et si rapprochées les unes des autres, qu'une portion d'un corps qui en contient des *myriades,* peut encore être supposée extrêmement petite et d'une grandeur insensible dans toutes ses dimensions. Cela étant, si d'un point M comme centre, et d'un rayon de pareille grandeur, on décrit, dans l'intérieur d'un corps, une sphère qui renferme effectivement un nombre extrêmement grand de molécules; si l'on désigne par μ la somme de leurs masses, et par v le volume de cette sphère; et si l'on fait

$$\frac{\mu}{v} = \rho,$$

ce rapport ρ est ce qu'on appelle la densité du corps au point M, quelles que soient d'ailleurs les différences de forme et de masse des molécules, et leur distribution régulière ou irrégulière dans l'étendue de v. De même, en représentant par n le nombre de molécules que ce volume contient, et faisant

$$\frac{v}{n} = \varepsilon^3,$$

cette ligne ε, de grandeur insensible, sera ce que nous appellerons l'*intervalle moyen* des molécules qui répond au point M.

Dans le cas d'un corps homogène dont la température est partout la même, et abstraction faite de la compression inégale de ses différentes parties, produite par le poids de ses molécules ou par des pressions exercées à sa surface, ces deux quantités ρ et ε seront des constantes, c'est-à-dire, qu'elles ne varieront pas du point M à un autre. Dans tout

autre cas, ces deux quantités varieront avec la position de M, et pourront être regardées comme des fonctions des coordonnées de ce point.

Ces définitions de la densité et de l'intervalle moyen conviennent également aux corps cristallisés et à ceux qui ne le sont pas; mais il y a entre ces deux sortes de corps une différence relative aux deux quantités ρ et ε, que nous expliquerons tout à l'heure.

(2) Indépendamment de l'attraction newtonienne, proportionnelle au produit des masses de chaque couple de molécules, en raison inverse du carré de leur distance, et qui ne dépend pas de leur nature particulière, elles sont encore soumises à des attractions et répulsions, décroissantes avec une extrême rapidité, de manière que ces forces deviennent tout à fait insensibles et négligeables, dès que l'intervalle qui sépare les deux molécules a acquis une grandeur sensible.

Soient donc m et m' deux molécules très-voisines, mais que nous supposerons d'abord à une distance assez grande l'une de l'autre, pour que leur forme, si elle n'est pas exactement sphérique, n'ait aucune influence sensible sur leur action mutuelle : cette action se réduit alors à une force motrice unique, fonction de leur distance, et dirigée d'une molécule à l'autre, ou pour fixer les idées, du centre de gravité de l'une à celui de l'autre; en sorte que si l'on appelle M et M′ ces deux points, que l'on fasse $MM' = r$, et que l'on regarde la force dont il s'agit comme l'excès de la répulsion sur l'attraction, l'action de m' sur m sera une force motrice fr agissante au point M, suivant MM′ ou dans le sens opposé, selon que cette fonction aura une valeur positive ou négative; et réciproquement, l'action de m sur m' sera la même force fr,

agissante au point M', toujours en sens contraire de celle de m' sur m.

Les deux forces d'attraction et de répulsion dont la différence donne naissance à la force fr, sont l'une et l'autre, comme on le verra par la suite, extrêmement grandes par rapport à cette différence. Les lois de leurs décroissements, très-rapides à mesure que r augmente, ne nous sont pas connues ; seulement, nous pouvons croire qu'il n'existe pas dans la nature, de forces dues à une cause unique qui croisse et décroisse successivement dans l'étendue de sa sphère d'activité, et que, par conséquent, l'attraction et la répulsion décroissent l'une et l'autre sans alternative, et conservent chacune le même signe, depuis $r = 0$ jusqu'à la valeur de r qui rend ces deux forces sensiblement nulles, laquelle valeur, insensible pour ces deux forces, peut être néanmoins très-différente pour l'attraction et pour la répulsion, aussi bien que la loi du décroissement de chacune d'elles. Le rayon d'activité de la force fr, positive ou négative, sera celui de la force partielle qui étend le plus loin son action.

On regarde la répulsion comme étant due à l'action mutuelle du calorique des molécules. La matière du corps restant la même, cette force et fr, par conséquent, varieront donc pour chaque valeur de r, si la quantité de calorique des molécules vient à changer par une cause quelconque ; ce qui aura lieu principalement dans le passage ou le retour de ce corps, de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état de vapeur. L'attraction provient de l'action mutuelle de la matière pondérable, et change, en conséquence, avec la matière et la forme des *atomes* d'espèces diverses qui entrent dans chaque molécule. Par cette raison, la force fr

peut avoir des valeurs très-différentes pour une même valeur de r ou n'être pas la même fonction de cette variable dans les corps différents, toutes choses d'ailleurs égales relativement au calorique. Si l'attraction de la matière pondérable qui retient le calorique dans chaque molécule, s'étend au dehors et s'exerce sur le calorique des molécules voisines, la partie négative de fr dépendra aussi de cette action. Mais, dans ce Mémoire, nous aurons seulement à considérer les effets mécaniques des actions moléculaires qui s'exercent à distances insensibles, quelle que soit d'ailleurs leur origine.

(3) Ce cas particulier où l'action mutuelle de deux molécules se réduit à une seule force, fonction de la distance de leurs centres et dirigée suivant cette ligne, est celui des fluides, soit parce que les dimensions de leurs pores sont très-grandes, eu égard à celles de leurs molécules, soit à cause que celles-ci sont exactement sphériques. Il n'en est pas de même dans les corps solides : l'action moléculaire y dépend de la forme non sphérique des molécules; l'action mutuelle des deux molécules voisines m et m' n'y sera donc pas nécessairement dirigée suivant la droite MM'; et il pourra même arriver qu'elle consiste en deux forces non réductibles à une seule. Pour l'action de m' sur m, on pourra, si l'on veut, prendre une force R dirigée suivant MM', et une force R', non comprises, en général, l'une et l'autre dans un même plan. Les intensités de ces deux forces seront des fonctions de r, nulles pour toute grandeur sensible de cette distance; mais elles varieront, en outre, avec la position de m' autour de m, et seront aussi, par conséquent, fonctions des deux angles qui déterminent la direction du rayon vecteur r de M'.

Dans tous les cas, nous supposerons que la sphère d'activité

des forces moléculaires, quoique son rayon soit insensible, comprenne cependant un nombre excessivement grand de molécules. Sans cette hypothèse, il serait impossible de soumettre au calcul les attractions et les répulsions des molécules, et de déterminer les lois de l'équilibre et du mouvement des corps élastiques, autrement qu'en les regardant, contrairement à la réalité, comme des masses continues. Mais, heureusement, notre supposition est conforme à ce qui a lieu dans la nature, et doit être admise comme telle, dans la physique et dans la chimie.

Il s'ensuit que si l'on considère, dans un corps solide non cristallisé, deux portions P et P′ qui soient d'une étendue insensible, mais dont chacune renferme néanmoins un nombre extrêmement grand de molécules, et que l'on veuille déterminer l'action totale de P′ sur P, on pourra supposer que l'action mutuelle de deux molécules m et m', dont les centres sont M et M′, se réduit à une seule force, comme dans les fluides, dirigée suivant MM′ et fonction seulement de cette distance r. Cela revient à faire abstracion, dans ce calcul, de la force que nous venons de désigner par R′ pour chaque couple de molécules, ainsi que de l'inégalité de la force R, à distance égale autour de m ou de m'. Et, en effet, cette force R′ et cette inégalité de R proviennent de la non-sphéricité des molécules; d'un autre côté, les corps non-cristallisés sont ceux dont les molécules sont distribuées dans le voisinage de chacune d'elles, sans aucune espèce de régularité, sous le rapport de leurs formes, de leurs situations respectives, et de leurs intervalles; d'après cela, on conçoit que le nombre de couples de molécules m et m' appartenantes à P et P′, étant, par hypothèse, excessivement

grand et comme infini, les effets de cette irrégularité doivent se compenser, dans le calcul de l'action totale de l'une de ces deux parties du corps sur l'autre, et qu'il ne doit subsister qu'une sorte de résultat moyen, correspondant aux seules forces R fonction de r. C'est ici une conséquence nécessaire de la *loi des grands nombres*. Mais quand il s'agira d'un corps cristallisé, cette compensation que nous admettons dans l'autre cas, n'aura plus lieu; ce qui rendra le calcul des actions moléculaires beaucoup plus compliqué.

(4) Dans un cristal que je supposerai d'abord homogène, toutes les molécules sont de même nature, de même forme et de même volume. Si l'on suppose, de plus, que ce corps soit dans son *état naturel*, c'est-à-dire, qu'il ait partout la même température, et qu'aucune force donnée, telle que la pesanteur, ne soit appliquée à ses molécules, ni aucune pression exercée à sa surface, leurs lignes homologues seront toutes parallèles et tournées d'un même côté, et leurs points homologues, leurs centres de gravité, par exemple, seront aussi, dans toute l'étendue de ce corps, rangés sur des séries de droites parallèles; l'intervalle compris entre deux centres consécutifs sera le même dans toute une même série, et variera, en général, d'une série à une autre. Cependant, les molécules pourront s'écarter jusqu'à un certain point et irrégulièrement, de cet état et de cette disposition que nous prenons pour la définition d'un corps cristallisé; mais par la même raison que précédemment, il sera permis de n'avoir point égard à ces irrégularités, en déterminant l'action mutuelle de deux parties P et P' de ce corps, dont chacune comprend un nombre extrêmement grand de molécules.

Si le volume v que l'on a considéré dans le n° 1 n'est pas une

sphère qui ait son centre au point M, les rapports de ce volume au nombre de molécules qu'il contient, et de leur masse totale à ce même volume, varieront, dans le cas d'un corps cristallisé, avec la forme de v et avec la position du point M dans son intérieur. Le second de ces deux rapports ne pourra donc plus exprimer la densité du cristal au point M, et la racine cubique du premier, l'intervalle moyen des molécules qui répond à ce point; tandis que, dans le cas d'un corps non-cristallisé, ces deux rapports seront indépendants de la forme de v; et il suffira que ce volume, d'une étendue insensible, renferme néanmoins un nombre extrêmement grand de molécules et contienne le point M, pour qu'ils aient, relativement à ce point, la signification qu'on leur a donnée dans le numéro cité; ce qui établit une différence essentielle entre les corps cristallisés et ceux qui ne le sont pas.

Généralement, soit m la masse moyenne des molécules contenues dans v, qui peuvent n'être pas toutes exactement égales; soient aussi μ_i leur masse totale, et n_i leur nombre supposé très-grand; nous aurons

$$\mu_i = n_i m.$$

Désignons par i une ligne de grandeur insensible, telle que l'on ait

$$v = n_i i^3;$$

faisons, en outre,

$$\mu_i = \rho_i v;$$

les deux quantités ρ_i et i pourront être appelées la densité de la portion v du corps, et l'intervalle moyen de ses molécules. Elles varieront l'une et l'autre, dans un corps cristallisé, avec la forme de v; et ce volume restant le même, elles varieront

également quand on le fera tourner autour de son point M. Mais dans ces changements de figure et de position, la masse moyenne m des molécules ne variera pas; en sorte que μ et n étant, comme dans le n° 1, la masse totale et le nombre des molécules contenues dans la sphère du volume v qui a son centre en M, on aura toujours

$$\mu = nm;$$

et à cause de

$$\mu = \rho v, \qquad v = n\varepsilon^3,$$

on conclura de ces diverses équations

$$\rho_1 i^3 = \rho\varepsilon^3; \tag{1}$$

ce qui montre que le produit de la densité ρ_1 et du cube de l'intervalle moyen i, dans toute portion très-petite v d'un cristal, est invariable autour du point M que v renferme, et constamment égal au produit de la densité ρ du corps et du cube de l'intervalle moyen de ses molécules qui répondent à ce point M, tels qu'ils ont été définis dans le n° 1.

Ces remarques relatives à chaque point M conviennent également à un cristal hétérogène dont la constitution varie d'une manière continue, de sorte qu'en deux points situés dans son intérieur, la nature et la forme de ses molécules, la direction de leurs sections homologues, et les intervalles de leurs centres, diffèrent sensiblement, mais seulement quand ces points sont à une distance sensible l'un de l'autre.

Dans un cristal quelconque, homogène ou hétérogène, si le poids des molécules, des pressions exercées à la surface, des changements de température, viennent comprimer ou dilater ses différentes parties, et l'écarter ainsi de son état

naturel, nous supposerons généralement que ces diverses causes sont trop faibles pour changer la forme des molécules, et qu'elles ne feront varier que les distances de leurs centres et les directions des lignes tracées fixement dans leur intérieur. On verra dans la suite de ce Mémoire, comment on tiendrait compte, si on le jugeait nécessaire, des petites déformations que les molécules peuvent éprouver en se déplaçant, et spécialement pendant leurs vibrations dont nous aurons à déterminer les lois. De plus, nous regarderons ces variations régulières de distances et de directions, aussi bien que les variations de forme et de nature des molécules en passant d'un point à un autre d'un corps hétérogène, comme insensibles et négligeables dans l'étendue de la sphère d'activité moléculaire. Toutefois, cela n'aura lieu à l'égard des intervalles des molécules, que dans l'intérieur du corps, à des distances sensibles de sa surface; car tous les corps sont terminés par une couche d'une épaisseur insensible, où la densité varie très-rapidement et suivant des lois inconnues, dans le sens de cette épaisseur.

(5) Maintenant, soit toujours M le centre d'une molécule quelconque m, appartenante à un corps cristallisé et située à une distance sensible de la surface. Désignons par x, y, z, les trois coordonnées rectangulaires de M, rapportées à des axes fixes dans l'espace. Par ce point, menons trois autres axes rectangulaires MA, MB, MC, fixes dans l'intérieur de m, qui se déplaceront avec cette molécule, et que nous appellerons ses *axes mobiles*, par opposition aux axes des coordonnées de M. Dans l'état naturel du corps dont il s'agit, ou plus généralement dans un état d'équilibre de ce corps, soumis à des forces données, intérieures et extérieures, on

pourra supposer que les axes mobiles de ses molécules forment trois séries de droites parallèles. Si d'autres forces viennent à troubler cet équilibre, ce parallélisme n'aura plus lieu pour des molécules séparées par des distances sensibles; mais il subsistera toujours sensiblement, d'après ce qu'on a dit tout à l'heure, dans l'étendue de la sphère d'activité moléculaire. Nous considérerons effectivement dans le paragraphe suivant de ce Mémoire deux pareils états successifs d'un même corps; et nous supposerons, pour ne pas trop compliquer la question, que dans le second, les centres de ses molécules et leurs axes mobiles s'écarteront fort peu de leurs positions et de leurs directions dans le premier état. Le second pourra d'ailleurs être, comme le premier, un état d'équilibre, ou bien un état de mouvement, dans lequel les centres des molécules exécuteront des vibrations d'une très-petite étendue, et les molécules, de très-petites oscillations autour de leurs centres.

Pour déterminer la direction des axes mobiles par rapport à ceux des x, y, z, menons par le point M, trois droites Mx, My, Mz, parallèles à ces derniers, et dirigées dans le sens des coordonnées positives. Faisons ensuite, dans le premier état du corps,

$$\begin{array}{lll} \cos \mathrm{AM}x = a, & \cos \mathrm{AM}y = b, & \cos \mathrm{AM}z = c, \\ \cos \mathrm{BM}x = a', & \cos \mathrm{BM}y = b', & \cos \mathrm{BM}z = c', \\ \cos \mathrm{CM}x = a'', & \cos \mathrm{CM}y = b'', & \cos \mathrm{CM}z = c''. \end{array}$$

Ces neuf cosinus seront liés entre eux par six équations connues, et pourront, comme on sait, s'exprimer en fonctions de trois angles indépendants. Désignons par θ l'angle CMz compris entre l'axe MC et la droite Mz; par ψ l'angle que fait

l'intersection du plan des deux autres axes mobiles MA et MB, et du plan de Mx et My, avec la droite Mx; et enfin par φ l'angle compris entre l'axe MA et cette intersection. Ces trois variables θ, ψ, φ, seront les angles indépendants qui détermineront complétement les directions de MA, MB, MC; et les quantités a, b, etc., auront pour valeurs en fonctions de ces angles : (*)

$$\left.\begin{aligned}
a &= \cos\theta \sin\psi \sin\varphi + \cos\psi \cos\varphi,\\
b &= \cos\theta \sin\psi \cos\varphi - \cos\psi \sin\varphi,\\
c &= \sin\theta \sin\psi,\\
a' &= \cos\theta \cos\psi \sin\varphi - \sin\psi \cos\varphi,\\
b' &= \cos\theta \cos\psi \cos\varphi + \sin\psi \sin\varphi,\\
c' &= \sin\theta \cos\psi,\\
a'' &= -\sin\theta \sin\varphi,\\
b'' &= -\sin\theta \cos\varphi,\\
c'' &= \cos\theta.
\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

En passant du premier état du corps à son second état, les angles φ, ψ, θ, éprouveront de petites variations, et, par suite, les quantités a, b, etc., subiront de petits accroissements, positifs ou négatifs, que nous désignerons par δa, δb, etc. On simplifiera leurs expressions, en faisant coïncider, dans le premier état, les axes mobiles MA, MB, MC, de la molécule quelconque m, avec les droites Mx, My, Mz. Dans ce premier état, on aura alors $\theta = 0$. D'après la manière dont les formules (2) supposent que les angles φ et ψ sont comptés, il faudra et il suffira que l'on ait en

(*) *Traité de mécanique*, N° 378.

outre $\varphi - \psi = 0$; ce qui réduira ces formules, comme cela doit être, à

$$a = 1,\ b' = 1,\ c'' = 1,$$
$$b = 0,\ c = 0,\ a' = 0,\ c' = 0,\ a'' = 0,\ b'' = 0.$$

Dans le second état, θ et $\varphi - \psi$ seront de très-petits angles; en développant les formules (2) suivant leurs puissances, et négligeant leurs carrés et leurs produits, on en conclura :

$$\left.\begin{array}{lll} \delta a = 0, & \delta b = -q, & \delta c = p, \\ \delta a' = q, & \delta b' = 0, & \delta c' = p', \\ \delta a'' = -p, & \delta b'' = -p', & \delta c'' = 0, \end{array}\right\} \quad (3)$$

où l'on a fait, pour abréger,

$$\theta \sin \psi = p, \quad \theta \cos \psi = p', \quad \varphi - \psi = q.$$

Quand les valeurs de ces trois quantités p, p', q, auront été déterminées, celles des trois angles θ, ψ, φ, et, par conséquent les directions des axes mobiles par rapport aux axes des x, y, z, dans le second état du corps, le seront aussi; car on aura

$$\theta = \sqrt{p^2 + p'^2}, \quad \operatorname{tang} \psi = \frac{p}{p'}, \quad \varphi = \psi + q.$$

(6) En général, les déplacements réguliers des molécules d'un corps solide, c'est-à-dire, ceux qui peuvent s'exprimer pour le centre d'une molécule quelconque et suivant chaque direction donnée, par des fonctions des coordonnées de ce point, communes à toutes les molécules sensiblement éloignées de la surface; ces déplacements, disons-nous, jouissent de propriétés purement géométriques ou indépendantes des causes mécaniques qui les ont produits. Ce sont ces propriétés que nous allons maintenant exposer.

Pour cela, soient, comme précédemment, M et M′ les centres de deux molécules m et m', situées à une distance insensible l'une de l'autre et à une distance sensible de la surface du corps auquel elles appartiennent. Avant leurs déplacements, désignons par x, y, z, les trois coordonnées rectangulaires de M; par $x + x'$, $y + y'$, $z + z'$, celles de M′; par r, la distance M M′; et par α, 6, γ, les angles M′ Mx, M′ My, M′ Mz, que fait ce rayon vecteur r de M′, avec les parallèles Mx, My, Mz, aux axes de ces coordonnées, menées par le point M; nous aurons

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = r^2,$$

et, en outre,

$$x' = r\cos\alpha, \quad y' = r\cos 6, \quad z' = r\cos\gamma.$$

Ces quantités x', y', z', positives ou négatives, seront, ainsi que r, de grandeur insensible; et nous négligerons en conséquence leurs carrés et leurs produits.

Après les déplacements de m et de m', représentons ce que deviennent les coordonnées de M, par $x + u$, $y + v$, $z + w$, et celles de M′, par $x + x' + u'$, $y + y' + v'$, $z + z' + w'$. Par hypothèse u, v, w, seront des fonctions de x, y, z, et, en même temps, u', v', w', seront les mêmes fonctions de $x + x'$, $y + y'$, $z + z'$; donc, en développant ces dernières fonctions suivant les puissances et les produits de x', y', z', et s'arrêtant aux premières puissances inclusivement, on aura

$$\left.\begin{aligned} u' &= u + x'\frac{du}{dx} + y'\frac{du}{dy} + z'\frac{du}{dz}, \\ v' &= v + x'\frac{dv}{dx} + y'\frac{dv}{dy} + z'\frac{dv}{dz}, \\ w' &= w + x'\frac{dw}{dx} + y'\frac{dw}{dy} + z'\frac{dw}{dz}. \end{aligned}\right\} (4)$$

Représentons aussi, après ces mêmes déplacements, par r', α', $\mathcal{E}'$, γ', ce que deviennent le rayon vecteur r et les angles α, $\mathcal{E}$, γ; nous aurons

$$\cos\alpha' = \frac{x' + u' - u}{r'}, \quad \cos\mathcal{E}' = \frac{y' + v' - v}{r'}, \quad \cos\gamma' = \frac{z' + w' - w}{r'},$$

et, de plus,

$$r'^2 = r^2 + 2x'(u' - u) + 2y'(v' - v) + 2z'(w' - w) + (u' - u)^2 + (v' - v)^2 + (w' - w)^2.$$

Or, en vertu des valeurs de x', y', z', r', u', v', w', la quantité r disparaît de ces expressions de $\cos\alpha'$, $\cos\mathcal{E}'$, $\cos\gamma'$; les angles α', $\mathcal{E}'$, γ', ne dépendront donc que des coordonnées de M et des angles α, $\mathcal{E}$, γ; d'où l'on conclut que toutes les molécules qui avaient, avant leurs déplacements, leurs centres sur une même droite de grandeur insensible, ou, du moins, assez petite pour qu'on puisse négliger son carré, auront encore leurs centres rangés en ligne droite, après ces déplacements. Par conséquent, le rapport $\frac{r' - r}{r}$ qui pourra être positif ou négatif, fera connaître la dilatation ou la contraction linéaire que le corps aura éprouvée, suivant une direction donnée autour de chaque point M, en y mettant pour α, $\mathcal{E}$, γ, les angles relatifs à cette direction, et pour x, y, z, les coordonnées de ce point, qui entrent dans les expressions de $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc. En passant à un point M, situé à une distance insensible de M, ces neuf différences partielles n'éprouveront que des variations insensibles; et, comme elles sont déjà multipliées par l'une des quantités x', y', z', dans les formules (4), il s'ensuit qu'au degré

d'approximation où nous nous arrêtons, c'est-à-dire, en négligeant les carrés et les produits des grandeurs insensibles, la dilatation sera la même, suivant une même direction, autour des deux points M et M_1. Ainsi, en considérant deux séries de molécules dont les centres étaient primitivement rangés sur deux droites parallèles, égales, de grandeur insensible, et situées à une distance insensible l'une de l'autre, les centres de ces mêmes molécules seront encore rangés sur deux droites égales, après les déplacements moléculaires.

Tous les centres des molécules qui appartenaient primitivement à un même plan de dimensions insensibles, se trouveront encore sur un même plan après les déplacements. Cela résulte évidemment de la même propriété relative à toutes les droites comprises dans cette portion de surface plane. Mais sa direction et la forme de son contour changeront généralement, de manière toutefois que deux droites, égales et parallèles, qui font partie de ce plan, conserveront toujours leur égalité. Si donc on considère, par exemple, une portion μ du corps, qui soit, avant les déplacements des molécules, un parallélipipède rectangle, ayant un sommet au point M, et ses trois côtés adjacents, de longueur insensible, ses arêtes et ses faces resteront rectilignes et planes après ces déplacements : les arêtes opposées demeureront égales; et leur parallélisme étant une conséquence de cette égalité, ses faces et son volume seront donc encore des parallélogrammes et un parallélipipède, mais qui auront cessé d'être rectangles. Ce volume, ainsi changé en un parallélipipède obliquangle, renfermera toujours les centres des mêmes molécules; la masse de μ n'aura

donc pas changé; et si l'on suppose le nombre de ces molécules extrêmement grand, que l'on détermine le nouveau volume de μ, et qu'on le compare à son volume primitif, le rapport de l'un à l'autre fera connaître le changement de densité de cette petite portion du corps, qui aura eu lieu en vertu des déplacements moléculaires.

Ces diverses propriétés n'exigent pas que ces déplacements soient très-petits; elles supposent seulement que les différences $u' - u$, $v' - v$, $w' - w$, relatives à deux points séparés par une distance insensible, sont aussi de grandeur insensible; mais elles peuvent être comparables à cette distance, en être, par exemple, la moitié, le tiers, le double, le triple; ce qui rendrait les dilatations linéaires très-considérables, comme cela peut avoir lieu effectivement dans les fluides aériformes. Mais c'est le cas des dilatations très-petites qui nous importe surtout pour la suite de ce mémoire, et auquel il convient d'appliquer spécialement les résultats précédents.

(7) Dans ce cas, il faudra que les differences $u'-u$, $v'-v$, $w'-w$, soient très-petites par rapport à r; en mettant dans leurs valeurs, tirées des formules (4), celles de x', y', z', on en conclut que les quantités $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc., devront être de très-petites fractions, à savoir, de l'ordre de petitesse des dilatations que l'on veut considérer. Nous négligerons, en conséquence, leurs carrés et leurs produits; de la valeur de r'^2, on déduira alors

$$r' = r + x'(u' - u) + y'(v' - v) + z'(w' - w),$$

ou, ce qui est la même chose,

$$r' = r + r\sigma,$$

en faisant, pour abréger,

$$\sigma = \frac{du}{dx}\cos^2\alpha + \frac{dv}{dy}\cos^2\mathcal{E} + \frac{dw}{dz}\cos^2\gamma + \left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\cos\alpha\cos\mathcal{E} + \left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\cos\alpha\cos\gamma + \left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\cos\mathcal{E}\cos\gamma. \quad (5)$$

Cette quantité σ, ou $\frac{r'-r}{r}$, exprimera la dilatation linéaire, positive ou négative, correspondante au point M et relative à la direction déterminée par les angles $\alpha, \mathcal{E}, \gamma$.

Avant les déplacements des molécules, désignons par l, l', l'' les trois côtés adjacents au point M, et de grandeur insensible, du parallélipipède rectangle du numéro précédent. Supposons-les parallèles aux axes des x, y, z. Soient $\lambda, \lambda', \lambda''$, ce qu'ils deviendront après ces déplacements. Ces secondes longueurs se déduiront immédiatement de l'expression de r' : celle de λ, par exemple, en y faisant $r=l$, $\cos\alpha=1$, $\cos\mathcal{E}=0$, $\cos\gamma=0$; et, de cette manière, on aura

$$\lambda = l\left(1+\frac{dv}{dx}\right), \quad \lambda' = l'\left(1+\frac{dv}{dy}\right), \quad \lambda'' = l''\left(1+\frac{dw}{dz}\right).$$

Le volume du parallélipipède obliquangle, dans lequel se sera changé le parallélipipède rectangle, sera égal au produit $\lambda\,\lambda'\,\lambda''$ de ses trois côtés, multiplié par le sinus de l'angle compris entre deux de ces droites, et par le sinus de l'inclinaison de la troisième sur le plan des deux premières. Or, ces deux angles étant droits quand le parallélipipède était rectangle, chacun d'eux ne différera d'un angle droit, après les déplacements des molécules et la déformation qui s'ensuit, que d'une quantité de l'ordre de petitesse des fractions $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc.; et, par conséquent, leurs sinus ne différeront

de l'unité, que de quantités du second ordre que nous négligerons dans notre calcul. Le volume dont il s'agit se réduira donc au produit $\lambda\lambda'\lambda''$, dont la valeur approchée est

$$\lambda\lambda'\lambda'' = ll'l''\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right).$$

En même temps, les aires des faces de ce parallélipipède, attenantes au même sommet, auront pour expressions les produits $\lambda\lambda'$, $\lambda\lambda''$, $\lambda'\lambda''$, en prenant toujours l'unité pour le sinus de l'angle compris entre les côtés contigus de chacune d'elles, et leurs valeurs approchées seront

$$\lambda\lambda' = ll'\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}\right),$$
$$\lambda\lambda'' = ll''\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz}\right),$$
$$\lambda'\lambda'' = l'l''\left(1 + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right),$$

d'après celles de λ, λ', λ''.

Appelons D et D' les densités du parallélipipède en question, avant et après les déplacements moléculaires; sa masse ne changeant pas dans ces déplacements, le rapport de ces densités sera le rapport inverse des volumes correspondants; par conséquent, on aura

$$\frac{D'}{D} = \frac{ll'l''}{\lambda\lambda'\lambda''};$$

d'où l'on tire

$$D' = D\left(1 - \frac{du}{dx} - \frac{dv}{dy} - \frac{dw}{dz}\right).$$

En supposant donc que, par l'effet du déplacement des molécules, la densité de cette petite portion du corps ait varié

dans le rapport de $1-s$ à l'unité, de sorte qu'on ait

$$D' = D(1-s),$$

il en résultera

$$s = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}, \qquad (6)$$

pour l'expression de la dilatation ou de la condensation de $ll'l''$, selon que cette fraction s sera positive ou négative.

(8) Supposons que ce parallélipipède rectangle tourne autour du sommet M, et que ses trois côtés, adjacents à ce point, deviennent parallèles à trois nouveaux axes des coordonnées. Soient x_1, y_1, z_1, celles du point M par rapport à ces nouveaux axes, avant les déplacements moléculaires. Nous aurons

$$\begin{aligned} x &= x_1 d + y_1 e + z_1 f, \\ y &= x_1 d' + y_1 e' + z_1 f', \\ z &= x_1 d'' + y_1 e'' + z_1 f''; \end{aligned}$$

d, e, etc., étant neuf constantes liées entre elles par les six équations

$$d^2 + d'^2 + d''^2 = 1, \quad e^2 + e'^2 + e''^2 = 1, \quad f^2 + f'^2 + f''^2 = 1,$$
$$ed + e'd' + e''d'' = 0, \quad fd + f'd' + f''d'' = 0, \quad ef + e'f' + e''f'' = 0;$$

en sorte que l'on aura aussi, réciproquement,

$$\begin{aligned} x_1 &= xd + yd' + zd'', \\ y_1 &= xe + ye' + ze'', \\ z_1 &= xf + yf' + zf''. \end{aligned}$$

Soient $x_1 + u_1$, $y_1 + v_1$, $z_1 + w_1$, ce que deviendront x_1, y_1, z_1, après les déplacements des molécules. En substituant dans les premières équations, $x_1 + u_1$, $y_1 + v_1$, $z_1 + w_1$, au lieu de x_1, y_1, z_1, et, en même temps, $x + u$, $y + v$, $z + w$,

à la place de x, y, z, on en conclura

$$u = u_1 d + v_1 e + w_1 f,$$
$$v = u_1 d' + v_1 e' + w_1 f',$$
$$w = u_1 d'' + v_1 e'' + w_1 f''.$$

En différentiant, on aura donc,

$$\frac{du}{dx} = \left(\frac{du_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dx} + \frac{du_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dx} + \frac{du_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dx}\right)d + \left(\frac{dv_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dx} + \frac{dv_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dx} + \frac{dv_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dx}\right)e$$
$$+ \left(\frac{dw_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dx} + \frac{dw_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dx} + \frac{dw_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dx}\right)f,$$
$$\frac{dv}{dy} = \left(\frac{du_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dy} + \frac{du_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dy} + \frac{du_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dy}\right)d' + \left(\frac{dv_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dy} + \frac{dv_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dy} + \frac{dv_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dy}\right)e'$$
$$+ \left(\frac{dw_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dy} + \frac{dw_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dy} + \frac{dw_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dy}\right)f',$$
$$\frac{dw}{dz} = \left(\frac{du_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dz} + \frac{du_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dz} + \frac{du_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dz}\right)d'' + \left(\frac{dv_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dz} + \frac{dv_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dz} + \frac{dv_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dz}\right)e''$$
$$+ \left(\frac{dw_1}{dx_1}\frac{dx_1}{dz} + \frac{dw_1}{dy_1}\frac{dy_1}{dz} + \frac{dw_1}{dz_1}\frac{dz_1}{dz}\right)f''.$$

On aura également

$$\frac{dx_1}{dx} = d,\ \frac{dy_1}{dx} = e,\ \frac{dz_1}{dx} = f,\ \frac{dx_1}{dy} = d',\ \frac{dy_1}{dy} = e',\ \frac{dz_1}{dy} = f',\ \frac{dx_1}{dz} = d'',\ \frac{dy_1}{dz} = e'',\ \frac{dz_1}{dz} = f'';$$

d'où il résultera

$$\frac{du}{dx} = \left(\frac{du_1}{dx_1}d + \frac{du_1}{dy_1}e + \frac{du_1}{dz_1}f\right)d + \left(\frac{dv_1}{dx_1}d + \frac{dv_1}{dy_1}e + \frac{dv_1}{dz}f\right)e$$
$$+ \left(\frac{dw_1}{dx_1}d + \frac{dw_1}{dy_1}e + \frac{dw_1}{dz_1}f\right)f,$$
$$\frac{dv}{dy} = \left(\frac{du_1}{dx_1}d' + \frac{du_1}{dy_1}e' + \frac{du_1}{dz_1}f'\right)d' + \left(\frac{dv_1}{dx_1}d' + \frac{dv_1}{dy_1}e' + \frac{dv_1}{dz_1}f''\right)e'$$
$$+ \left(\frac{dw_1}{dx_1}d' + \frac{dw_1}{dy_1}e' + \frac{dw_1}{dz_1}f'\right)f',$$
$$\frac{dw}{dz} = \left(\frac{du_1}{dx_1}d'' + \frac{du_1}{dy_1}e'' + \frac{du_1}{dz_1}f''\right)d'' + \left(\frac{dv_1}{dx_1}d'' + \frac{dv_1}{dy_1}e'' + \frac{dv_1}{dz_1}f''\right)e$$
$$+ \left(\frac{dw_1}{dx_1}d'' + \frac{dw_1}{dy_1}e'' + \frac{dw_1}{dz_1}f''\right)f'';$$

et, en vertu des six équations qu'on a citées, on en conclura

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = \frac{du_1}{dx_1} + \frac{dv_1}{dy_1} + \frac{dw_1}{dz_1}.$$

Cela posé, si l'on représente par s_1 la dilatation du parallélipipède dans sa seconde position, qui a été désignée par s dans la première, il est évident que s_1 se déduira de s par le changement de x, y, z, u, v, w, en $x_1, y_1, z_1, u_1, v_1, w_1$. En vertu de la formule (6), on aura donc

$$s_1 = \frac{du_1}{dx_1} + \frac{dv_1}{dy_1} + \frac{dw_1}{dz_1},$$

et par conséquent $s_1 = s$, d'après l'équation précédente. Or, cette égalité de s_1 et s ayant lieu pour toutes les positions autour du point M, de la petite portion du corps que l'on a considérée, il s'ensuit qu'on pourra regarder la quantité s, donnée par la formule (6), comme exprimant la petite dilatation positive ou négative de ce corps même, correspondante au point M, et résultante du déplacement de ses molécules.

Les quantités $\frac{du_1}{dx_1}, \frac{dv_1}{dy_1}, \frac{dw_1}{dz_1}$, sont les dilatations linéaires suivant les directions parallèles aux axes des x_1, y_1, z_1, de même que $\frac{du}{dx}, \frac{dv}{dy}, \frac{dw}{dz}$, sont celles qui se rapportent aux directions des axes des x, y, z, ou les valeurs des rapports $\frac{\lambda - l}{l}, \frac{\lambda' - l'}{l'}, \frac{\lambda'' - l''}{l''}$. On conclut de là que la somme des dilatations linéaires, suivant trois directions rectangulaires, est constante ou indépendante de ces directions autour de chaque point M, et égale à la dilatation cubique en ce point; ce qu'on pourrait aussi déduire de la formule (5), appliquée successivement à trois semblables directions.

(9) Le changement de direction qu'éprouve une section quelconque du corps, par l'effet des déplacements de ses molécules, peut aussi s'exprimer par des formules indépendantes des causes mécaniques qui les produisent.

En effet, avant ces déplacements, soit MΠ la perpendiculaire élevée par le point M à une section passant par ce point; désignons, après ces déplacements, par MΠ′ la perpendiculaire élevée par ce point à la même section, c'est-à-dire à la section qui contient, près de M, les centres des mêmes molécules qu'auparavant; appelons λ, μ, ν, les angles donnés que fait MΠ avec des parallèles aux axes des x, y, z, menées par M, et λ', μ', ν', ce que deviennent ces angles relativement à MΠ′ : la question consistera à déterminer λ', μ', ν', au moyen de λ, μ, ν. Or, si nous représentons par $x + x_{,}$, $y + y_{,}$, $z + z_{,}$, les coordonnées primitives d'un point de la section dont il s'agit, situé à une distance insensible de M, et par $x + x'_{,}$, $y + y'_{,}$, $z + z'_{,}$, les coordonnées du même point, après les déplacements des molécules, il faudra que les coordonnées $x_{,}$, $y_{,}$, $z_{,}$, qui sont rapportées aux axes parallèles à ceux des x, y, z, et menés par le point M, satisfassent à l'équation du plan perpendiculaire à MΠ, et les coordonnées $x'_{,}$, $y'_{,}$, $z'_{,}$, à l'équation du plan perpendiculaire à MΠ′; il faudra donc qu'on ait

$$x_{,} \cos\lambda + y_{,} \cos\mu + z_{,} \cos\nu = 0,$$
$$x'_{,} \cos\lambda' + y'_{,} \cos\mu' + z'_{,} \cos\nu' = 0;$$

et en retranchant ces deux équations l'une de l'autre, et négligeant les produits des différences $x'_{,} - x_{,}$, $y'_{,} - y_{,}$, $z'_{,} - z_{,}$, $\cos\lambda_{,} - \cos\lambda$, $\cos\mu' - \mu$, $\cos\nu' - \cos\nu$, qui sont toutes des quantités de l'ordre de petitesse de $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc., il en résultera

$$(x'_i - x_i)\cos\lambda + (y'_i - y_i)\cos\mu + (z'_i - z_i)\cos\nu$$
$$+ x_i(\cos\lambda' - \cos\lambda) + y_i(\cos\mu' - \cos\mu) + z_i(\cos\nu' - \cos\nu) = 0.$$

De plus, en vertu des formules (4), nous aurons

$$x'_i - x_i = \frac{du}{dx}x_i + \frac{du}{dy}y_i + \frac{du}{dz}z_i,$$
$$y'_i - y_i = \frac{dv}{dx}x_i + \frac{dv}{dy}y_i + \frac{dv}{dz}z_i,$$
$$z'_i - z_i = \frac{dw}{dx}x_i + \frac{dw}{dy}y_i + \frac{dw}{dz}z_i;$$

ce qui changera l'équation précédente en celle-ci :

$$x_i\left(\frac{du}{dx}\cos\lambda + \frac{dv}{dx}\cos\mu + \frac{dw}{dx}\cos\nu + \cos\lambda' - \cos\lambda\right)$$
$$+ y_i\left(\frac{du}{dy}\cos\lambda + \frac{dv}{dy}\cos\mu + \frac{dw}{dy}\cos\nu + \cos\mu' - \cos\mu\right)$$
$$+ z_i\left(\frac{du}{dz}\cos\lambda + \frac{dv}{dz}\cos\mu + \frac{dw}{dz}\cos\nu + \cos\nu' - \cos\nu\right) = 0.$$

Après avoir éliminé, au moyen de l'équation du plan perpendiculaire à MM, l'une des trois variables x_i, y_i, z_i, par exemple la coordonnée x_i, l'équation qui en résultera devra être identique par rapport à y_i et z_i; on égalera donc séparément à zéro les coefficients de ces deux variables; et, de cette manière, on trouvera

$$\left(\frac{du}{dy}\cos\lambda + \frac{dv}{dy}\cos\mu + \frac{dw}{dy}\cos\nu\right)\cos\lambda - \left(\frac{du}{dx}\cos\lambda + \frac{dv}{dx}\cos\mu + \frac{dw}{dx}\cos\nu\right)\cos\mu$$
$$+ (\cos\mu' - \cos\mu)\cos\lambda - (\cos\lambda' - \cos\lambda)\cos\mu = 0,$$

$$\left(\frac{du}{dz}\cos\lambda + \frac{dv}{dz}\cos\mu + \frac{dw}{dz}\cos\nu\right)\cos\lambda - \left(\frac{du}{dx}\cos\lambda + \frac{dv}{dx}\cos\mu + \frac{dw}{dx}\cos\nu\right)\cos\nu$$
$$+ (\cos\nu' - \cos\nu)\cos\lambda - (\cos\lambda' - \cos\lambda)\cos\nu = 0.$$

En retranchant l'une de l'autre les deux équations

$$\cos^2\lambda + \cos^2\mu + \cos^2\nu = 1,$$
$$\cos^2\lambda' + \cos^2\mu' + \cos^2\nu' = 1,$$

et négligeant les carrés des différences $\cos\lambda' - \cos\lambda$, $\cos\mu' - \cos\mu$, $\cos\nu' - \cos\nu$, il vient

$$(\cos\lambda' - \cos\lambda)\cos\lambda + (\cos\mu' - \cos\mu)\cos\mu + (\cos\nu' - \cos\nu)\cos\nu = 0.$$

On aura donc ainsi trois équations linéaires entre ces mêmes différences; d'où l'on tirera, pour les formules qu'il s'agissait d'obtenir,

$$\cos\lambda' - \cos\lambda = L, \quad \cos\mu' - \cos\mu = M, \quad \cos\nu' - \cos\nu = N,$$

en faisant, pour abréger,

$$\begin{aligned} L = {} & \left(\frac{du}{dy}\cos\lambda + \frac{dv}{dy}\cos\mu + \frac{dw}{dy}\cos\nu\right)\cos\lambda\cos\mu \\ & + \left(\frac{du}{dz}\cos\lambda + \frac{dv}{dz}\cos\mu + \frac{dw}{dz}\cos\nu\right)\cos\lambda\cos\nu, \\ & - \left(\frac{du}{dx}\cos\lambda + \frac{dv}{dx}\cos\mu + \frac{dw}{dx}\cos\nu\right)\sin^2\lambda \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M = {} & \left(\frac{du}{dx}\cos\lambda + \frac{dv}{dx}\cos\mu + \frac{dw}{dx}\cos\nu\right)\cos\mu\cos\lambda \\ & + \left(\frac{du}{dz}\cos\lambda + \frac{dv}{dz}\cos\mu + \frac{dw}{dz}\cos\nu\right)\cos\mu\cos\nu, \\ & - \left(\frac{du}{dy}\cos\lambda + \frac{dv}{dy}\cos\mu + \frac{dw}{dy}\cos\nu\right)\sin^2\mu \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N = {} & \left(\frac{du}{dx}\cos\lambda + \frac{dv}{dx}\cos\mu + \frac{dw}{dx}\cos\nu\right)\cos\nu\cos\lambda \\ & + \left(\frac{du}{dy}\cos\lambda + \frac{dv}{dy}\cos\mu + \frac{dw}{dy}\cos\nu\right)\cos\nu\cos\mu. \\ & - \left(\frac{du}{dz}\cos\lambda + \frac{dv}{dz}\cos\mu + \frac{dw}{dz}\cos\nu\right)\sin^2\nu \end{aligned}$$

Il suffira de former l'expression de L, qui s'obtiendra sans peine; celles de M et N s'en déduiront ensuite par de simples changements de lettres.

(10) Lorsqu'on appliquera les formules des nos 6 et 7 aux petits mouvements d'un corps, les variables x, y, z, représenteront les coordonnées du centre M d'une molécule quelconque à un instant donné, pour lequel les axes mobiles MA, MB, MC, seront supposés parallèles à ceux de ces coordonnées; au bout d'un temps t quelconque, les variables u, v, w, exprimeront les déplacements de M suivant ces axes, et les angles φ, ψ, θ, détermineront les changements des directions de MA, MB, MC. Ces six dernières quantités seront donc, dans chaque cas, les six inconnues du problème, dont il s'agira de trouver les valeurs en fonctions de t, x, y, z; et quand on y sera parvenu, la formule (6) fera connaître immédiatement la dilatation du corps, au bout du temps t et relative au point M. Au même instant, les composantes de la vitesse de M, suivant les axes des x, y, z, seront $\frac{du}{dt}$, $\frac{dv}{dt}$, $\frac{dw}{dt}$; en sorte que leurs valeurs se déduiront aussi immédiatement de celles de u, v, w, qu'on aura trouvées. Mais quoique l'on ait supposé que les différences partielles $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc., soient de très-petites fractions, il est bon d'observer que celles-ci $\frac{du}{dt}$, $\frac{dv}{dt}$, $\frac{dw}{dt}$, pourront avoir des valeurs très-considérables. C'est ce qui arrivera, en effet, lorsque les molécules exécuteront, avec une très-grande rapidité, des vibrations d'une très-petite amplitude : les dilatations et les condensations alternatives dont elles se trouveront accompagnées, seront néanmoins toujours très-petites.

Il est bon aussi de vérifier, ce qui est d'ailleurs évident en soi-même, que si le mouvement du corps que l'on considère est un mouvement, soit de translation, soit de rotation, commun à tous ses points, il n'influera aucunement sur les dilatations linéaire et cubique σ et s, données par les formules (5) et (6). Pour un mouvement de translation, les déplacements u, v, w, sont indépendants de x, y, z, et ne dépendent que de t; d'où il résulte immédiatement $\sigma = o$ et $s = o$. Pour un mouvement de rotation, on a, d'après les formules connues,

$$\frac{du}{dt} = (y\cos\eta'' - z\cos\eta')\,\omega,$$
$$\frac{dv}{dt} = (z\cos\eta - x\cos\eta'')\,\omega,$$
$$\frac{dw}{dt} = (x\cos\eta' - y\cos\eta)\,\omega;$$

ω étant la vitesse angulaire, et η, η', η'', les angles que l'axe instantané de rotation fait avec les axes des x, y, z. Les quatre quantités ω, η, η', η'', ne seront fonctions que du temps; en multipliant par dt, intégrant ensuite depuis la valeur de t pour laquelle on a $u = 0$, $v = 0$, $w = 0$, et faisant

$$\int\omega\cos\eta dt = \zeta, \quad \int\omega\cos\eta' dt = \zeta', \quad \int\omega\cos\eta'' dt = \zeta'',$$

ces trois autres quantités ζ, ζ', ζ'', ne dépendront pas non plus de x, y, z; et comme il en résultera

$$u = \zeta'' y - \zeta' z, \quad v = \zeta z - \zeta'' x, \quad w = \zeta' x - \zeta y,$$

ces valeurs de u, v, w, rendront nulles celles de s et de σ.

(11) D'après la formule (6), la dilatation linéaire varie

avec sa direction, autour de chaque point M, à raison des angles α, β, γ. Elle peut être beaucoup plus grande dans un sens que dans un autre sens, tout à fait nulle dans celui-ci, positive suivant une direction, négative dans une direction différente; mais elle sera toujours la même dans deux directions opposées quelconques; car la valeur de σ ne change pas, lorsque les angles α, β, γ, se changent en $180^\circ - \alpha$, $180^\circ - \beta$, $180^\circ - \gamma$, et leurs cosinus en $-\cos\alpha$, $-\cos\beta$, $-\cos\gamma$.

En général, cette inégalité de dilatation dans des sens différents, autour d'un même point, s'observe effectivement dans les corps solides, cristallisés ou non. Considérons, par exemple, un prisme droit, vertical, partout à la même température, et dont la base inférieure soit posée sur un plan fixe horizontal. Supposons d'abord que l'on n'exerce aucune pression à sa surface, et que l'on fasse abstraction de son poids : ce corps sera alors dans son état naturel; ses molécules se placeront autour de chacune d'elles, aux distances nécessaires à l'équilibre de leurs actions mutuelles; leur intervalle moyen, tel qu'il a été défini dans le n° 1, sera le même dans toute l'étendue de ce corps, s'il est homogène; il variera d'un point à un autre, s'il s'agit d'un corps hétérogène. Actuellement, si l'on charge d'un poids la base supérieure de ce prisme, il se comprimera dans le sens vertical et se dilatera horizontalement; en sorte que la dilatation linéaire, autour de chaque point, sera positive dans le sens de sa hauteur, et négative parallèlement à sa base. Déterminer cette dilatation en fonction des coordonnées du point auquel elle se rapporte, est d'ailleurs un problème très-difficile, que l'on sait seulement résoudre dans le cas particulier où les dimensions des bases sont très-petites eu égard à la longueur,

et dont nous ne nous occuperons pas dans ce Mémoire.

Cela posé, quelle est la cause qui maintient ainsi les molécules autour d'un même point, dans la direction où elles sont le plus resserrées, et les empêche de se porter dans les directions où elles se trouvent le plus écartées les unes des autres? Cette cause physique ne peut être que leur non sphéricité et son influence sur leur action mutuelle; ce qui n'empêche pas, cependant, qu'on ne doive avoir aucun égard à cette influence, ainsi qu'on l'a expliqué dans le n° 3, lorsqu'il ne s'agit point d'un corps cristallisé, et que l'on veut seulement calculer l'action mutuelle et totale de deux de ses parties d'une grandeur insensible, qui contiennent néanmoins l'une et l'autre un nombre extrêmement grand de molécules. Mais, dans les fluides, une pareille cause n'existe pas, si leurs molécules, comme on l'a dit aussi dans ce numéro, sont tout à fait sphériques, ou du moins, si les intervalles qui les séparent sont assez grands par rapport à leurs dimensions, pour que leur forme non sphérique n'influe aucunement sur leurs attractions ou répulsions mutuelles; d'où il résulte une parfaite mobilité des molécules, qui distingue essentiellement les fluides des solides, et donne lieu à une propriété fondamentale des fluides, que j'ai exposée dans mon Traité de mécanique et dans d'autres occasions; laquelle propriété doit servir de base, pour le rappeler en passant, à la théorie de leur équilibre et de leur mouvement, mais dont il ne sera pas question davantage dans ce Mémoire, où nous ne devons nous occuper que des corps solides.

(12) Voici maintenant les expressions les plus générales des forces moléculaires.

Considérons de nouveau les deux molécules m et m', dont

les centres, M et M', sont situés à une distance r l'un de l'autre, moindre que le rayon d'activité de ces forces.

Pour déterminer la direction de la droite MM' par rapport aux axes mobiles de m, faisons

$$\cos \mathrm{AMM'} = g, \quad \cos \mathrm{BMM'} = h, \quad \cos \mathrm{CMM'} = k,$$

de sorte qu'on ait

$$g^2 + h^2 + k^2 = 1.$$

Soient aussi U, V, W, les composantes de l'action de m' sur m suivant les trois axes MA, MA, MC. Puisque ces deux molécules doivent être regardées comme étant de même forme et de même nature, et ayant leurs lignes homologues parallèles et tournées d'un même côté (n°. 4), il s'ensuit que chacune des composantes U, V, W, sera une fonction de r, g, h, k, dépendante de cette forme et de cette nature. De plus, l'une et l'autre variant dans l'étendue du corps, s'il est hétérogène, ou s'il n'est pas partout à la même température, ces fonctions dépendront aussi des coordonnées du point M, que nous continuerons de représenter par x, y, z. Par conséquent, on aura généralement

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{U} &= \Phi(r, x, y, z, g, h, k), \\ \mathrm{V} &= \Psi(r, x, y, z, g, h, k), \\ \mathrm{W} &= \Theta(r, x, y, z, g, h, k); \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Φ, Ψ, Θ, indiquant des fonctions de grandeur insensible pour toute valeur sensible de r, quelles que soient d'ailleurs les valeurs des six autres variables qu'elles renferment.

Si l'on passe de m et m' à un autre couple de molécules pour lequel les quantités r, g, h, k, se changent en $r_{,}$, $g_{,}$, $h_{,}$, $k_{,}$, et tel que les coordonnées du centre de l'une des deux nouvelles

molécules soient x_i, y_i, z_i; et, si l'on représente par U_i, V_i, W_i, ce que U, V, W deviendraient, on aura

$$\begin{aligned} U_i &= \Phi(r_i, x_i, y_i, z_i, g_i, h_i, k_i), \\ V_i &= \Psi(r_i, x_i, y_i, z_i, g_i, h_i, k_i), \\ W_i &= \Theta(r_i, x_i, y_i, z_i, g_i, h_i, k_i). \end{aligned}$$

Mais, si ce sont les deux mêmes molécules m et m', qui éprouvent de petits déplacements, comme dans le n° 7, sans changer de forme ni de nature, il ne faudra pas changer les variables x, y, z, dans les formules (7); et, en supposant que la distance r du centre de ces deux molécules soit devenue r', que les quantités g, h, k, aient subi de petits accroissements positifs ou négatifs, représentés par δg, δh, δk, et que U', V', W', soient les valeurs de U, V, W, après ces déplacements, il en résultera

$$\begin{aligned} U' &= \Phi(r', x, y, z, g + \delta g, h + \delta h, k + \delta k), \\ V' &= \Psi(r', x, y, z, g + \delta g, h + \delta h, k + \delta k), \\ W' &= \Theta(r', x, y, z, g + \delta g, h + \delta h, k + \delta k). \end{aligned}$$

Je mets pour r' sa valeur $r + r\sigma$ du n° 7, puis je développe ces fonctions, et je néglige les carrés et les produits de $r\sigma$, δg, δh, δk; il vient

$$\left.\begin{aligned} U' &= \Phi + \frac{d\Phi}{dr} r\sigma + \frac{d\Phi}{dg} \delta g + \frac{d\Phi}{dh} \delta h + \frac{d\Phi}{dk} \delta k, \\ V' &= \Psi + \frac{d\Psi}{dr} r\sigma + \frac{d\Psi}{dg} \delta g + \frac{d\Psi}{dh} \delta h + \frac{d\Psi}{dk} \delta k, \\ W' &= \Theta + \frac{d\Theta}{dr} r\sigma + \frac{d\Theta}{dg} \delta g + \frac{d\Theta}{dh} \delta h + \frac{d\Theta}{dk} \delta k, \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

où l'on a remplacé, pour plus de simplicité, les seconds membres des équations (7) par les lettres Φ, Ψ, Θ.

Quoique les termes dépendants de σ aient r pour facteur,

ils sont néanmoins du même ordre de grandeur que les termes suivants, en supposant cette quantité σ aussi du même ordre que δg, δh, δk. En effet, les fonctions Φ, Ψ, Θ, étant du genre de celles qui varient très-rapidement avec la variable r, les produits $r\frac{d\Phi}{dr}$, $r\frac{d\Psi}{dr}$, $r\frac{d\Theta}{dr}$, par lesquels la quantité σ se trouve multipliée, sont du même ordre de grandeur que ces fonctions mêmes, et, conséquemment, que leurs différences partielles $\frac{d\Phi}{dg}$, $\frac{d\Phi}{dh}$, etc.

Lorsqu'il s'agira d'un corps non cristallisé dont les molécules devront être regardées comme sphériques dans le calcul des actions mutuelles de deux parties qui en contiendraient de très-grands nombres (n° 4), l'action de m' sur m sera alors considérée comme étant dirigée suivant la droite MM', et indépendante de g, h, k. On aura donc simplement, pour les trois composantes de cette force,

$$U=-fr\cos\alpha,\quad V=-fr\cos\mathcal{E},\quad W=-fr\cos\gamma,$$

où l'on désigne par fr une fonction de grandeur insensible pour toute valeur sensible de r, positive ou négative selon que la force qu'elle représente sera répulsive ou attractive, et qui dépendra en outre des coordonnées x, y, z, de M, dans le cas d'un corps hétérogène. En même temps, les formules (8) devront être remplacées par celles-ci :

$$U'=-fr\cos\alpha-\frac{dfr}{dr}r\sigma\cos\alpha-fr(\cos\alpha'-\cos\alpha),$$

$$V'=-fr\cos\mathcal{E}-\frac{dfr}{dr}r\sigma\cos\mathcal{E}-fr(\cos\mathcal{E}'-\cos\mathcal{E}),$$

$$W'=-fr\cos\gamma-\frac{dfr}{dr}r\sigma\cos\gamma-fr(\cos\gamma'-\cos\gamma),$$

en désignant par $\alpha', \mathcal{C}', \gamma'$, après les déplacements de m et m', les angles que fait la droite MM' avec des parallèles aux axes des x, y, z, menées par le point M, ou comme plus haut (n° 6), ce que deviennent les angles $\alpha, \mathcal{C}, \gamma$, dans ces déplacements.

(13) On exprimera sans difficulté les différences $\cos\alpha' - \cos\alpha$, $\cos\mathcal{C}' - \cos\mathcal{C}$, $\cos\gamma' - \cos\gamma$, contenues dans ces dernières formules, et les accroissements δg, δh, δk, que renferment les formules (8), au moyen des quantités p, p', q, du n° 5, et de la dilatation linéaire σ.

D'après les notations de ce numéro et en vertu d'une formule connue, on a, en effet,

$$\begin{aligned} g &= a\cos\alpha + b\cos\mathcal{C} + c\cos\gamma, \\ h &= a'\cos\alpha + b'\cos\mathcal{C} + c'\cos\gamma, \\ k &= a''\cos\alpha + b''\cos\mathcal{C} + c''\cos\gamma. \end{aligned}$$

En négligeant les produits de chacun des accroissements δa, δb, etc., par l'une des différences $\cos\alpha' - \cos\alpha$, $\cos\mathcal{C}' - \cos\mathcal{C}$, $\cos\gamma' - \cos\gamma$, on en déduira

$$\begin{aligned} \delta g &= \cos\alpha\delta a + \cos\mathcal{C}\delta b + \cos\gamma\delta c \\ &\quad + a(\cos\alpha' - \cos\alpha) + b(\cos\mathcal{C}' - \cos\mathcal{C}) + c(\cos\gamma' - \cos\gamma), \\ \delta h &= \cos\alpha\delta a' + \cos\mathcal{C}\delta b' \cos\gamma\delta c' \\ &\quad + a'(\cos\alpha' - \cos\alpha) + b'(\cos\mathcal{C}' - \cos\mathcal{C}) + c'(\cos\gamma' - \cos\gamma), \\ \delta k &= \cos\alpha\delta a'' + \cos\mathcal{C}\delta b'' + \cos\gamma\delta c'' \\ &\quad + a''(\cos\alpha' - \cos\alpha) + b''(\cos\mathcal{C}' - \cos\mathcal{C}) + c''(\cos\gamma' - \cos\gamma). \end{aligned}$$

Les axes mobiles des molécules étant primitivement parallèles, par hypothèse, aux axes des coordonnées x, y, z, trois des neuf cosinus a, b, etc., savoir, a, b', c'', sont l'unité, les six autres sont zéro, et l'on a

$$g = \cos\alpha, \quad h = \cos\mathcal{C}, \quad k = \cos\gamma.$$

Les formules précédentes se réduisent donc à celles-ci :

$$\delta g = \cos\alpha\delta a + \cos\mathcal{C}\delta b + \cos\gamma\delta c + \cos\alpha' - \cos\alpha,$$
$$\delta h = \cos\alpha\delta a' + \cos\mathcal{C}\delta b' + \cos\gamma\delta c' + \cos\mathcal{C}' - \cos\mathcal{C},$$
$$\delta k = \cos\alpha\delta a'' + \cos\mathcal{C}\delta b'' + \cos\gamma\delta c'' + \cos\gamma' - \cos\gamma,$$

où il faudra mettre à la place de $\delta a, \delta b$, etc., les formules (3); au moyen de quoi l'on aura

$$\delta g = -q\cos\mathcal{C} + p\cos\gamma + \cos\alpha' - \cos\alpha,$$
$$\delta h = \quad q\cos\alpha + p'\cos\gamma + \cos\mathcal{C}' - \cos\mathcal{C},$$
$$\delta k = -p\cos\alpha - p'\cos\mathcal{C} + \cos\gamma' - \cos\gamma.$$

Nous avons, en outre,

$$\cos\alpha = \frac{x'}{r}, \qquad \cos\mathcal{C} = \frac{y'}{r}, \qquad \cos\gamma = \frac{z'}{r},$$
$$\cos\alpha' = \frac{x'+u'-u}{r'}, \quad \cos\mathcal{C}' = \frac{y'+v'-v}{r'}, \quad \cos\gamma' = \frac{z'+w'-w}{r'}.$$

Les trois premières de ces équations peuvent être écrites ainsi :

$$\cos\alpha = \frac{x'(1+\sigma)}{r'}, \quad \cos\mathcal{C} = \frac{y'(1+\sigma)}{r'}, \quad \cos\gamma = \frac{z'(1+\sigma)}{r'};$$

et, en les retranchant des trois dernières, il vient

$$\cos\alpha' - \cos\alpha = \frac{u' - u - x'\sigma}{r'},$$
$$\cos\mathcal{C}' - \cos\mathcal{C} = \frac{v' - v - y'\sigma}{r'},$$
$$\cos\gamma' - \cos\gamma = \frac{w' - w - z'\sigma}{r'}.$$

Donc, en ayant égard aux équations (4), et négligeant toujours les carrés et les produits de $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc., ce qui permettra

de mettre r au lieu de r' au dénominateur de ces fractions, il en résultera

$$\cos\alpha' - \cos\alpha = \frac{du}{dx}\cos\alpha + \frac{du}{dy}\cos\mathcal{E} + \frac{du}{dz}\cos\gamma - \sigma\cos\alpha,$$
$$\cos\mathcal{E}' - \cos\mathcal{E} = \frac{dv}{dx}\cos\alpha + \frac{dv}{dy}\cos\mathcal{E} + \frac{dv}{dz}\cos\gamma - \sigma\cos\mathcal{E},$$
$$\cos\gamma' - \cos\gamma = \frac{dw}{dx}\cos\alpha + \frac{dw}{dy}\cos\mathcal{E} + \frac{dw}{dz}\cos\gamma - \sigma\cos\gamma;$$

puis nous aurons finalement

$$\left.\begin{aligned}
\delta g &= \left(\frac{du}{dy} - q\right)\cos\mathcal{E} + \left(\frac{du}{dz} + p\right)\cos\gamma + \left(\frac{du}{dx} - \sigma\right)\cos\alpha,\\
\delta h &= \left(\frac{dv}{dx} + q\right)\cos\alpha + \left(\frac{dv}{dz} + p'\right)\cos\gamma + \left(\frac{dv}{dy} - \sigma\right)\cos\mathcal{E},\\
\delta k &= \left(\frac{dw}{dx} - p\right)\cos\alpha + \left(\frac{dw}{dy} - p'\right)\cos\mathcal{E} + \left(\frac{dw}{dz} - \sigma\right)\cos\gamma,
\end{aligned}\right\} \quad (9)$$

pour les valeurs δg, δh, δk, qu'il faudra employer dans les formules (8).

On y mettra aussi $\cos\alpha$, $\cos\mathcal{E}$, $\cos\gamma$, à la place de g, h, k, que renferment les fonctions Φ, Ψ, Θ, et leurs différences partielles. Au moyen de ces valeurs de g, h, k, on vérifiera immédiatement que ces formules (9) satisfont à l'équation

$$g\delta g + h\delta h + k\delta k = 0,$$

résultante de la relation qui existe entre les trois cosinus g, h, k.

(14) Les fonctions Φ, Ψ, Θ, jouissent, par rapport aux changements de signes de g, h, k, de propriétés indépendantes de la forme des molécules, que nous allons faire connaître, et qui nous seront très-utiles dans la suite de ce Mémoire.

Soit $m_{,}$ une molécule dont le centre $M_{,}$ se trouve sur le prolongement de la droite M'M, à une distance de M égale à cette droite, de manière qu'en passant du point M' au point $M_{,}$, les cosinus g, h, k, changent de signes tous les trois et deviennent $-g$, $-h$, $-k$, et que la distance r reste la même. En faisant toujours abstraction des variations de forme et de nature des molécules dans l'étendue de leur sphère d'activité, ainsi que des changements de directions de leurs lignes homologues, il est évident que l'action de m sur $m_{,}$ sera la même que celle de m' sur m. La réaction étant égale et contraire à l'action, les trois composantes de l'action de $m_{,}$ sur m seront donc égales et de signes contraires à celles de cette action de m' sur m; par conséquent, les trois fonctions Φ, Ψ, Θ, changeront de signes en même temps que g, h, k, et nous aurons identiquement

$$\left.\begin{aligned}
\Phi(r,x,y,z,g,h,k) &= -\Phi(r,x,y,z,-g,-h,-k),\\
\Psi(r,x,y,z,g,h,k) &= -\Psi(r,x,y,z,-g,-h,-k),\\
\Theta(r,x,y,z,g,h,k) &= -\Theta(r,x,y,z,-g,-h,-k).
\end{aligned}\right\} \quad (10)$$

En second lieu, soit une autre molécule $m_{,}$, qui ait aussi son centre $M_{,}$ à la distance r de M. Supposons la droite $MM_{,}$ située dans le plan des deux lignes MC et MM', et l'angle $CMM_{,}$, égal à l'angle CMM', de sorte que l'axe mobile MC de m coupe l'angle $M'MM_{,}$ en deux parties égales. En passant de la droite M'M à $M_{,}M$, le cosinus k restera le même, et les deux autres g et h changeront de signes. Or, les composantes suivant MA et MB de l'action de m sur $m_{,}$ seront les mêmes que celles de l'action de m' sur m, et suivant l'axe MC, la composante de la première action sera égale et contraire à celle de la seconde. En effet, pour fixer les idées, si le plan de MA et

MB est horizontal, et chacune des molécules m' et $m_{,}$ au-dessous de ce plan, tout sera semblable, soit de m' à m, soit de m à $m_{,}$, avec cette seule différence que m se trouvant au-dessus de m' et $m_{,}$ au-dessous de m, si l'action de m' tend à éloigner m de ce plan, l'action de m tendra à en rapprocher $m_{,}$, et *vice versâ*. Cette similitude aurait encore lieu lors même que les molécules ne seraient pas symétriques des deux côtés de chaque section faite par leurs centres : si elles étaient des cônes, par exemple, et que ce fût la partie de l'axe de m' dirigée de son centre M' vers son sommet, qui fît un angle aigu avec la droite M'M, ce serait la partie de l'axe de m dirigée aussi de son centre M vers son sommet, qui ferait de même un angle aigu avec la droite MM$_{,}$. Cela posé, la réaction de $m_{,}$ sur m étant égale et contraire à l'action de m sur $m_{,}$, il s'ensuit que les composantes de l'action de $m_{,}$ sur m suivant les axes MA et MB, sont égales et de signes contraires à celles de m' sur m, et que, suivant MC, la composante de la première de ces deux actions est égale à celle de la seconde et de même signe. Par conséquent, lorsque les deux cosinus g et h changent de signes, et que le troisième k reste le même, les fonctions Φ et Ψ sont aussi les seules qui éprouvent un pareil changement, ou, autrement dit, on a identiquement

$$\Phi(r,x,y,z,-g,-h,k)=-\Phi(r,x,y,z,g,h,k),$$
$$\Psi(r,x,y,z,-g,-h,k)=-\Psi(r,x,y,z,g,h,k),$$
$$\Theta(r,x,y,z,-g,-h,k)=\Theta(r,x,y,z,g,h,h).$$

On trouvera pareillement six autres équations dans lesquelles ce seront les deux cosinus g et k, ou h et k, qui auront changé de signes, et le troisième h ou g, qui sera resté le

même; et, en combinant ces équations et les précédentes avec les équations (10), on obtiendra neuf équations où un seul des trois cosinus g, h, k, aura des signes contraires dans les deux membres de chacune d'elles. Ainsi, par exemple, en changeant g, h, k, en $-g, -h, -k$, dans les trois dernières équations identiques, il vient

$$\begin{aligned}
\Phi(r, x, y, z, g, h, -k) &= -\Phi(r, x, y, z, -g, -h, -k),\\
\Psi(r, x, y, z, g, h, -k) &= -\Psi(r, x, y, z, -g, -h, -k),\\
\Theta(r, x, y, z, g, h, -k) &= \Theta(r, x, y, z, -g, -h, -k);
\end{aligned}$$

et, en ayant égard aux équations (10), il en résulte

$$\left.\begin{aligned}
\Phi(r, x, y, g, h, -k) &= \Phi(r, x, y, z, g, h, k),\\
\Psi(r, x, y, g, h, -k) &= \Psi(r, x, y, z, g, h, k),\\
\Theta(r, x, y, g, h, -k) &= -\Theta(r, x, y, z, g, h, k);
\end{aligned}\right\} \quad (11)$$

ce qui montre que, quand un seul des trois cosinus g, h, k, savoir le cosinus k, change de signe, une seule des trois fonctions Φ, Ψ, Θ, savoir la fonction Θ, en change aussi, et que les deux autres, Φ et Ψ, restent les mêmes.

Ces diverses propriétés des trois fonctions Φ, Ψ, Θ, conviennent également à leurs différences partielles par rapport à r, x, y, z. Quant à leurs différences partielles $\frac{d\Phi}{dg}, \frac{d\Phi}{dh}$, etc., relatives à g, h, k, il faut remarquer que si l'on a généralement une fonction χu d'une variable u, qui satisfasse à l'une des conditions

$$\chi u = \chi(-u), \quad \chi u = -\chi(-u);$$

que l'on fasse

$$\frac{d\chi u}{du} = \chi' u;$$

et que l'on différentie, par rapport à u, ces deux équations données, on aura

$$\chi' u = -\chi'(-u), \quad \chi'' u = \chi'(-u);$$

au moyen de quoi, chaque équation relative aux fonctions Φ, Ψ, Θ, en fournira trois autres, en la différentiant successivement par rapport à g, h, k. De cette manière, si l'on fait

$$\frac{d\Phi}{dk} = \Phi' k, \quad \frac{d\Psi}{dk} = \Psi' k, \quad \frac{d\Theta}{dk} = \Theta' k,$$

et si l'on différentie les trois équations (11) par rapport à k, on aura, par exemple,

$$\begin{aligned}
\Phi'(r, x, y, z, g, h, -k) &= -\Phi'(r, x, y, z, g, h, k), \\
\Psi'(r, x, y, z, g, h, -k) &= -\Psi'(r, x, y, z, g, h, k), \\
\Theta'(r, x, y, z, g, h, -k) &= \Theta'(r, x, y, z, g, h, k);
\end{aligned}$$

et généralement, une différence partielle, relative à l'une des variables g, h, k, changera de signe, ou n'en changera pas, selon qu'au contraire la fonction dont elle dérive ne changera pas de signe ou en changera.

(15) En indiquant par la caractéristique Σ une somme qui s'étend à toutes les molécules comprises dans la sphère d'activité de m, nous aurons

$$\Sigma U, \quad \Sigma V, \quad \Sigma W,$$

pour les composantes suivant les axes MA, MB, MC, de la totalité des actions moléculaires exercées sur m. D'après les équations (8) et (10), chacune de ces sommes se compose de termes, deux à deux égaux et de signes contraires, et est conséquemment égale à zéro. Toutefois, pour l'équilibre de m, ces composantes ne devraient pas être absolument nulles ; elles devraient être égales et contraires à celles

de son poids et des autres forces motrices données, s'il en existe qui soient appliquées à cette molécule; et il faudrait en même temps que les moments des forces moléculaires dont il s'agit, rapportés aux axes mobiles de m, fussent égaux et de signes contraires à ceux de ces forces données. Or, ces très-petites valeurs des forces moléculaires, agissantes sur m, et de leurs moments, résulteraient, en effet, de la compression due au poids des molécules, que le corps éprouve, autour de m, dans l'étendue de leur sphère d'activité, et dont nous avons fait abstraction dans les équations (8) et (10). Mais il faut observer que cet équilibre mathématique serait continuellement dérangé par l'irrégularité sans cesse changeante, de la distribution des molécules autour de celle-là; irrégularité dont nous n'avons pas non plus tenu compte dans les expressions de Φ, Ψ, Θ. Dans la réalité, cet équilibre n'a pas lieu rigoureusement; et ce que nous prenons dans la nature pour l'état de repos d'un corps, n'est autre chose qu'un état dans lequel ses molécules exécutent incessamment des vibrations d'une étendue insensible, et des oscillations sur elles-mêmes, également imperceptibles; c'est pourquoi nous ne nous occuperons pas, dans ce Mémoire, de l'équilibre de chaque molécule considérée isolément : nous formerons les équations de l'équilibre et du mouvement des corps solides, d'après la considération des *pressions* résultantes des actions mutuelles de deux parties contiguës, d'une étendue insensible, mais qui contiennent néanmoins des nombres extrêmement grands de molécules. Parmi ces corps, il y en a qui sont susceptibles de s'écrouire, c'est-à-dire, dont les parties conservent les formes qu'on leur avait données par la compression, après qu'elle a cessé. Nous ne les compren-

drons pas dans nos calculs; nous considérerons seulement les corps parfaitement élastiques, dont les molécules tendent, en vertu de leurs actions mutuelles, à revenir à leurs positions d'équilibre, quand on les en a écartées, et ensuite abandonnées à elles-mêmes.

Les sommes que nous venons d'indiquer par Σ, et toutes celles que nous indiquerons dans la suite par la même caractéristique et qui se rapporteront aux forces moléculaires, tombent dans le cas d'exception que j'ai signalé dans d'autres Mémoires, où une telle somme ne peut être changée en une intégrale, quoique les variables y croissent entre les limites par degrés insensibles, mais de grandeur finie. Je renverrai, sur ce point, à mon Mémoire *sur les équations générales de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastiques et des fluides* (*), dans lequel on trouvera des exemples de l'exception, dont nous partons, et où l'on verra que, dans ce cas, le produit de la somme simple ou multiple, multipliée par les différences des variables auxquelles elle répond, dépend des grandeurs insensibles de ces différences. Ainsi, par exemple, s'il s'agit de la somme Σfr, où fr représente la même fonction que plus haut, et si l'on suppose que la variable r, dans l'étendue de ses limites, croît par des différences constantes, de grandeur insensible, et représentées par ε, le produit $\varepsilon\Sigma fr$ dépendra de ε; ce qui n'aurait pas lieu dans le cas général, où l'on aurait, sans erreur sensible,

$$\varepsilon\Sigma fr = \int fr\,dr;$$

l'intégrale étant prise entre les mêmes limites que la somme.

(*) *Journal de l'école polytechnique*, 20^{e} cahier.

§ II. *Calcul des pressions moléculaires qui ont lieu dans l'intérieur des corps cristallisés; équations de l'équilibre et des petits mouvements de ces corps.*

(16) Ainsi qu'on l'a dit précédemment (n° 5), nous considérerons dans ce paragraphe deux états successifs d'un même corps soumis à des forces différentes; le second état pouvant être un état d'équilibre très-peu différent du premier, ou bien un état dans lequel les molécules du corps, très-peu écartées de leurs premières positions, seront animées de petits mouvements.

Dans le premier état, désignons par x, y, z, les trois coordonnées rectangulaires d'un point quelconque M, situé à une distance sensible de la surface, et appartenant à une molécule intérieure, dont il sera, par exemple, le centre de gravité. Par ce point M, menons un plan qui divise le corps en deux parties, et que nous supposerons horizontal pour fixer les idées. Appelons A la partie supérieure, et A′ la partie inférieure, dans laquelle nous comprendrons les molécules dont les centres se trouveront sur ce plan même. Traçons sur ce plan une surface d'une grandeur insensible dans toutes ses dimensions, qui comprendra néanmoins les centres d'un très-grand nombre de molécules et particulièrement le point M, et de laquelle nous désignerons l'aire par ω. Sur ω élevons dans A un prisme ou un cylindre vertical, dont la hauteur soit au moins égale au rayon d'activité moléculaire ; appelons ce prisme B; l'action de toutes les molécules de A′ sur toutes celles de B, divisée par ω, sera la *pression* exercée par

A′ sur A, rapportée à l'unité de surface, et relative au point M, qu'il s'agira de calculer.

Pour cela, soient m une molécule de B et m' une molécule de A′, dont les centres seront désignés par N et N′; soient aussi O et O′ les projections de N et N′ sur le plan horizontal, mené par le point M; faisons

$$NO = \xi, \quad N'O' = \xi', \quad OO' = \mu,$$

et ensuite

$$\xi + \xi' = \zeta, \quad \zeta^2 + \mu^2 = r^2,$$

de sorte qu'on ait aussi

$$NN' = r.$$

Par le même point M, menons dans l'intérieur de A′, une droite MM′ égale et parallèle à NN′. Les composantes de l'action de la molécule qui a son centre en M′, sur celle qui a le sien en M, suivant les axes mobiles MA, MB, MC, de cette dernière, seront les forces U, V, W, du n° 12. Mais la distance MN devant être moindre que le rayon d'activité moléculaire, pour que la molécule m puisse éprouver l'action de m', il s'ensuit que ces trois forces seront aussi, parallèlement aux axes MA, MB, MC, les composantes de l'action de m' sur m; par conséquent, si l'on désigne par ωG, ωH, ωK, les composantes suivant ces directions, de l'action de toutes les molécules de A sur toutes celles de B, on aura

$$\omega G = \Sigma U, \quad \omega H = \Sigma V, \quad \omega K = \Sigma W; \qquad (1)$$

les caractéristiques Σ indiquant des sommes sextuples qui s'étendent à la totalité de ces deux systèmes de molécules, et sont distinctes, en conséquence, des sommes triples du nu-

méro précédent. Représentons aussi par ωP, ωQ, ωR, les composantes parallèles aux axes des x, y, z, de cette action totale de A′ sur B. D'après les notations du n° 5, nous aurons

$$\left.\begin{aligned} P &= aG + bH + cK, \\ Q &= a'G + b'H + c'K, \\ R &= a''G + b''H + c''K. \end{aligned}\right\} (2)$$

Ces quantités P, Q, R, seront, suivant les axes fixes, les composantes de la *pression* exercée au point M par A′ sur A, et rapportée à l'unité de surface; G, H, K, exprimeront les composantes de la même pression, parallèles aux axes mobiles MA, MB, MC.

(17) Par les considérations suivantes, on peut simplifier les sommes sextuples que renferment les équations (1), et les réduire à des sommes triples.

Menons par le point M′ une verticale M′L, qui rencontre en L le plan horizontal passant par le point M. D'après la position de M′, nous aurons

$$ML = \mu, \quad M'L = \zeta;$$

et ces deux lignes ML et M′L, jointes à l'angle que leur plan fait avec un plan vertical et fixe, mené à volonté par le point M, détermineront complétement la grandeur et la direction de MM′. Or, pour chaque droite MM′, il existera un nombre extrêmement grand de couples de molécules m de B et m' de A′, tels que l'action de m' sur m sera égale et parallèle à l'action de la molécule dont le centre est en M′, sur celle qui a son centre en M, de sorte que, pour chacun de ces couples, les composantes de l'action de m' sur m, parallèles aux axes MA, MB, MC, seront exprimées par U, V, W. De

plus, il y aura un pareil couple pour chaque molécule m de B, dont la hauteur au-dessus du plan horizontal n'est pas plus grande que ζ : pour une molécule m dont la hauteur ξ ou NO, au-dessus de ce plan, surpasse ζ, il n'existe pas un semblable couple; ce qui résulte évidemment de l'équation $\xi + \xi' = \zeta$, qui ne peut avoir lieu pour aucune molécule m' de A', située à une distance M'O' ou ξ' au-dessous du plan horizontal, à moins que l'on n'ait $\xi < \zeta$. Donc, si nous désignons par ν le nombre de molécules comprises dans le prisme droit, dont la base est ω et la hauteur ζ, et qui appartient à la partie inférieure de B, nous aurons d'abord

$$\omega G = \Sigma_\nu U, \quad \omega H = \Sigma_\nu V, \quad \omega K = \Sigma_\nu W,$$

au lieu des équations (1). On pourra d'ailleurs regarder le nombre ν comme étant proportionnel au volume $\zeta\omega$ de ce prisme, et faire, en conséquence,

$$\nu = \frac{\omega\zeta}{i^3},$$

où l'on représente par i une ligne de grandeur insensible, et indépendante de ζ. Alors, en faisant passer le facteur $\frac{\omega}{i^3}$ en dehors des signes Σ, les équations précédentes deviendront

$$G = \frac{1}{i^3}\Sigma\zeta U, \quad H = \frac{1}{i^3}\Sigma\zeta V, \quad K = \frac{1}{i^3}\Sigma\zeta W;$$

et maintenant les sommes Σ ne s'étendront plus qu'aux molécules m' de A'.

A cause du facteur ζ, qui s'évanouit pour celles dont les centres appartiennent au plan horizontal passant par M, on pourra ne pas les comprendre dans les sommes dont il s'agit.

Observons en outre que, pour chaque point M' de A', il existe un point M, de A situé sur le prolongement de M'M, et tel que l'on a M,M = M'M, pour lequel les trois quantités U, V, W sont, en vertu des équations (10) du n° 14, égales et de signes contraires aux quantités analogues qui répondent au point M'; d'où l'on conclut qu'en considérant ζ comme une variable positive pour les points M' situés au-dessous du plan horizontal, et négative pour les points M, situés au-dessus, on pourra étendre les sommes Σ des deux côtés de ce plan autour de M, pourvu que l'on ne prenne ensuite que la moitié de chacune d'elles. De cette manière, on aura finalement

$$G = \frac{1}{2i^3}\Sigma\zeta\Phi, \quad H = \frac{1}{2i^3}\Sigma\zeta\Psi, \quad K = \frac{1}{2i^3}\Sigma\zeta\Theta, \qquad (3)$$

où l'on a mis les lettres Φ, Ψ, Θ, à la place des seconds membres des équations (7) du n° 12, c'est-à-dire au lieu des valeurs de U, V, W, et les caractéristiques Σ indiquant des sommes triples qui s'étendent à toutes les molécules comprises dans la sphère d'activité de celle qui a son centre au point M.

(18) Ces forces G, H, K, et leur résultante, ou la pression au point M, varient, en général, autour de ce point avec la direction du plan sur lequel cette pression s'exerce, que l'on a supposé horizontal pour fixer les idées. Elles varieront aussi généralement avec la position du point M dans l'intérieur du corps; pour des plans parallèles, horizontaux par exemple, chacune des quantités G, H, K, sera la même fonction des coordonnées du point M auquel elles se rapportent. Si donc on considère un second plan horizontal passant par un point M, dont les coordonnées soient $x + \delta, y + \delta', z + \delta''$, les valeurs de G, H, K, relatives à M, se déduiront de celles qui

répondent à M, en mettant dans celles-ci $x + \delta, y + \delta', z + \delta''$ à la place de x, y, z; et, si l'on suppose que les grandeurs de δ, δ', δ'', sont insensibles, ou du moins assez petites pour qu'on puisse négliger leurs carrés et leurs produits, on aura

$$\mathrm{G} + \frac{d\mathrm{G}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{G}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{G}}{dz}\delta'',$$
$$\mathrm{H} + \frac{d\mathrm{H}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{H}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{H}}{dz}\delta'',$$
$$\mathrm{K} + \frac{d\mathrm{K}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{K}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{K}}{dz}\delta'',$$

pour ce que deviennent les forces G, H, K, en passant du point M et du premier plan horizontal, au point M, et au second plan de même direction.

En même temps, les forces P, Q, R, parallèles aux axes des x, y, z, deviendront

$$\mathrm{P} + \frac{d\mathrm{P}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{P}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{P}}{dz}\delta'',$$
$$\mathrm{Q} + \frac{d\mathrm{Q}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{Q}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{Q}}{dz}\delta'',$$
$$\mathrm{R} + \frac{d\mathrm{R}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{R}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{R}}{dz}\delta'';$$

expressions dans lesquelles on substituera les formules (2) à la place de P, Q, R. Si donc on désigne par Δ, Δ', Δ'', les excès de ces composantes de la pression, parallèles aux axes des x, y, z, et qui répondent au point M_1, sur celles qui se rapportent au point M, on aura

$$\Delta = \frac{d\mathrm{P}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{P}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{P}}{dz}\delta'',$$
$$\Delta' = \frac{d\mathrm{Q}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{Q}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{Q}}{dz}\delta'',$$
$$\Delta'' = \frac{d\mathrm{R}}{dx}\delta + \frac{d\mathrm{R}}{dy}\delta' + \frac{d\mathrm{R}}{dz}\delta'',$$

et selon que ces quantités Δ, Δ', Δ'', seront positives ou néga-

tives, elles représenteront des forces qui agiront dans les sens mêmes des coordonnées x, y, z, ou dans les sens directement opposés.

En prenant pour le prisme B un parallélipipède rectangle, qui ait M pour un de ses sommets, et ses trois côtés adjacents à ce point, parallèles aux axes des x, y, z; puis, en appliquant successivement à ses différentes faces les équations (3) et les expressions de Δ, Δ', Δ'', on formera sans peine trois des équations d'équilibre du corps que l'on considère, relatives au point quelconque M de son intérieur.

(19) Pour y parvenir, soient l, l', l'', les longueurs insensibles des trois côtés de ce parallélipipède, contigus au point M, et respectivement parallèles aux axes des x, y, z. Les aires de ses faces adjacentes au même point et perpendiculaires à ces axes seront ll', ll'', $l'l''$. Prenons-les successivement pour ω; et représentons ce que deviennent les forces G, H, K, P, Q, R, par G_1, H_1, K_1, P_1, Q_1, R_1, relativement à la face ll'; par G_2, H_2, K_2, P_2, Q_2, R_2, à l'égard de la face ll''; par G_3, H_3, K_3, P_3, Q_3, R_3, par rapport à la face $l'l''$. En vertu des équations (2), et en observant que a, b, c, ne changent pas dans le passage de l'une de ces trois faces à une autre, nous aurons

$$\left.\begin{aligned}
P_1 &= a\,G_1 + b\,H_1 + c\,K_1,\\
Q_1 &= a'\,G_1 + b'\,H_1 + c'\,K_1,\\
R_1 &= a''\,G_1 + b''\,H_1 + c''\,K_1,\\
P_2 &= a\,G_2 + b\,H_2 + c\,K_2,\\
Q_2 &= a'\,G_2 + b'\,H_2 + c'\,K_2,\\
R_2 &= a''\,G_2 + b''\,H_2 + c''\,K_2,\\
P_3 &= a\,G_3 + b\,H_3 + c\,K_3,\\
Q_3 &= a'\,G_3 + b'\,H_3 + c'\,K_3,\\
R_3 &= a''\,G_3 + b''\,H_3 + c''\,K_3.
\end{aligned}\right\} \quad (4)$$

En passant de l'une des faces adjacentes au point M à la face parallèle, représentons par $D_1 l$, $D'_1 l$, $D''_1 l$, les accroissements positifs ou négatifs de P_1, Q_1, R_1; par $D_2 l'$, $D'_2 l'$, $D''_2 l'$, ceux de P_2, Q_2, R_2; par $D_3 l''$, $D'_3 l''$, $D''_3 l''$, ceux de P_3, Q_3, R_3. Les valeurs de ces neuf accroissements se déduiront immédiatement de celles de Δ, Δ', Δ'' : par exemple, la valeur de $D_1 l$ s'obtiendra en mettant G_1, H_1, K_1, à la place de G, H, K, et faisant $\delta = l$, $\delta' = 0$, $\delta'' = 0$; celle $D_2 l'$, en mettant G_2, H_2, K_2, à la place de G, H, K, et faisant $\delta = 0$, $\delta' = l'$, $\delta'' = 0$; et de même pour les autres. De cette manière, on en conclura

$$D_1 = \frac{dP_1}{dx}, \quad D'_1 = \frac{dQ_1}{dx}, \quad D''_1 = \frac{dR_1}{dx},$$
$$D_2 = \frac{dP_2}{dy}, \quad D'_2 = \frac{dQ_2}{dy}, \quad D''_2 = \frac{dR_2}{dy},$$
$$D_3 = \frac{dP_3}{dz}, \quad D'_3 = \frac{dQ_3}{dz}, \quad D''_3 = \frac{dR_3}{dz}.$$

Les forces provenant des différences de pression sur les faces opposées du parallélipipède seront exprimées par les produits

$$-D_1 l.l'l'', \quad -D_2 l'.ll'', \quad -D_3 l''.ll',$$
$$-D'_1 l.l'l'', \quad -D'_2 l'.ll'', \quad -D'_3 l''.ll',$$
$$-D''_1 l.l'l'', \quad -D''_2 l'.ll'', \quad -D''_3 l''.ll',$$

auxquels on a donné le signe —, afin que ces forces agissent, comme toutes les composantes parallèles aux axes des x, y, z, dans les sens de ces coordonnées ou dans les sens directement opposés, selon que leurs valeurs, telles qu'on vient de les écrire, se trouveront positives ou négatives. Les trois premières seront parallèles à l'axe des x, les trois suivantes à l'axe des y, les trois dernières à l'axe des z. Par

conséquent, si l'on désigne par D, D′, D″, les forces totales provenant de l'action moléculaire et respectivement parallèles aux axes des x, y, z, qui agiront sur B, on aura

$$\begin{aligned} D &= -(D_1 + D_2 + D_3)\, ll'l'', \\ D' &= -(D'_1 + D'_2 + D'_3)\, ll'l'', \\ D'' &= -(D''_1 + D''_2 + D''_3)\, ll'l''. \end{aligned}$$

Avant d'aller plus loin, il est bon d'observer que si l'on avait eu égard, dans les formules (3), aux variations que l'on a négligées, de la forme, de la nature des molécules, des directions de leurs lignes homologues et des intervalles de leurs centres suivant un même sens, dans l'étendue de leur sphère d'activité, les valeurs de G_1, H_1, etc., qui se déduiront de ces formules, se trouveraient augmentées de quantités de l'ordre de petitesse de son rayon, et par suite, les valeurs de $G_1 ll'$, $H_1 ll'$, etc., se trouveraient aussi augmentées de termes du troisième ordre, ou de l'ordre du cube des lignes dont les grandeurs sont regardées comme insensibles. Mais ces termes disparaîtraient dans les différences des pressions relatives aux faces opposées de B, et, par conséquent, dans les valeurs précédentes de D, D′, D″, ou, du moins, ils n'y introduiraient que des termes du quatrième ordre; en sorte que ces valeurs doivent être regardées comme exactes jusqu'aux quantités près de cet ordre exclusivement.

Cela posé, soit ρ_1 la densité du parallélipipède B qui a l'un de ses sommets en M, laquelle est différente, en général, de la densité ρ du corps en ce point, et varie lorsque B tourne autour de ce sommet (n° 4). Soient aussi X, Y, Z, les forces accélératrices données, qui agissent sur les points de B, parallèlement aux axes des x, y, z. Ces quantités ρ_1, X, Y, Z,

varieront d'un point M à un autre ; mais on pourra les considérer comme des constantes dans l'étendue de B; et alors $X_{\rho_1} ll'l''$, $Y_{\rho_1} ll'l''$, $Z_{\rho_1} ll'l''$, seront les forces motrices de ce parallélipipède, autres que celles qui proviennent de l'action des molécules voisines, et au même degré d'approximation que les valeurs précédentes de D, D', D''. Pour que ces forces données fassent équilibre à ces différences des pressions moléculaires, il sera donc nécessaire que l'on ait

$$X_{\rho_1} ll'l'' + D = 0, \quad Y_{\rho_1} ll'l'' + D' = 0, \quad X_{\rho_1} ll'l'' + D'' = 0;$$

et si l'on substitue pour D, D', D'', leurs valeurs, et, dans celles-ci, les valeurs de D_1, D_1', etc., il en résultera

$$\left.\begin{aligned} X_{\rho_1} &= \frac{dP_1}{dx} + \frac{dP_2}{dy} + \frac{dP_3}{dz}, \\ Y_{\rho_1} &= \frac{dQ_1}{dx} + \frac{dQ_2}{dy} + \frac{dQ_3}{dz}, \\ Z_{\rho_1} &= \frac{dR_1}{dx} + \frac{dR_2}{dy} + \frac{dR_3}{dz}, \end{aligned}\right\} (5)$$

pour les trois équations d'équilibre qu'il s'agissait de former.

Quoique les côtés l, l', l'', de B soient de grandeur insensible, ces équations supposent néanmoins qu'ils sont extrêmement grands par rapport au rayon d'activité des molécules, afin que l'on puisse regarder comme insensible et négligeable dans la valeur entière de la pression exercée sur chaque face de B, la partie de cette force qui proviendrait des molécules situées à une distance des arêtes de ce parallélipipède, moindre que ce rayon. Et, en effet, l'action de ces molécules influerait à la fois sur les pressions relatives à deux faces adjacentes à une même arête de B, et même à trois faces contiguës à un même sommet; par conséquent, si

cette action produisait une partie sensible des pressions dont il s'agit, il ne serait plus permis, sans commettre un double ou un triple emploi, et sans altérer, en conséquence, les équations d'équilibre, de faire usage, dans les équations (5), des valeurs entières de P_r, Q_r, etc., résultantes de celles de G_r, H_r, etc., que l'on aurait déduites des formules (3).

(20) Les équations (5) sont nécessaires, mais non pas suffisantes pour l'équilibre de B; il faut encore que les sommes des moments de toutes les forces qui agissent sur ce parallélipipède, rapportés à trois axes rectangulaires que l'on prendra à volonté, soient égales à zéro. Je choisirai pour ces axes les trois droites Ix, Iy, Iz, menées par l'intersection des trois diagonales de B, et parallèles aux axes des x, y, z. On pourra considérer les composantes de la pression relative à chaque face, comme des forces appliquées à l'intersection des deux diagonales de ce rectangle. Ces forces étant proportionnelles aux aires $l'l''$, ll'', ll', et devant être multipliées par $\frac{1}{2}l$, $\frac{1}{2}l'$, $\frac{1}{2}l''$, pour en déduire leurs moments, il sera permis, en négligeant toujours les quantités du quatrième ordre de petitesse par rapport à l, l', l'', de regarder comme égales et contraires les composantes parallèles à un même axe et relatives à deux faces opposées; et à ce même degré d'approximation, on pourra également faire abstraction des moments des forces données $X_{\rho_r} ll'l''$, $Y_{\rho_r} ll'l''$, $Z_{\rho_r} ll'l''$. Ainsi, il y aura seulement à considérer et à égaler à zéro par rapport à chacun des axes Ix, Iy, Iz, les moments des six couples de forces égales et contraires $P_r l'l''$ et $-P_r l'l''$, $Q_r l'l''$ et $-Q_r l'l''$, etc.

Relativement à l'axe Ix, les seuls moments qui ne soient

pas nuls sont, d'une part, ceux des composantes parallèles à l'axe Iz, des pressions exercées sur les deux faces ll'' perpendiculaires à Iy, et d'un autre côté, les moments des composantes parallèles à l'axe Iy, des pressions exercées sur les deux faces ll' perpendiculaires à Iz. Les deux premières composantes tendent à faire tourner B dans le même sens autour de Ix, et le moment de ce couple de forces est égal au double du produit de $R_2 ll''$ et de $\frac{1}{2} l'$. De même, le moment du second couple de composantes est égal au double du produit de $Q_3 ll'$ et de $\frac{1}{2} l''$; et comme celles-ci tendent à faire tourner autour de Ix, en sens contraires des précédentes, leur moment devra être retranché de celui du premier couple de forces. Par conséquent, le moment total des quatre composantes, par rapport à l'axe Ix, aura pour expression, la différence

$$R_2 ll'l - Q_3 ll'l''.$$

On trouvera de même que le moment des pressions, par rapport à l'axe Iy, se réduira à

$$P_3 ll'l'' - R_1 ll'l',$$

et leur moment, par rapport à l'axe Iz, à

$$Q_1 ll'l - P_2 ll'l'.$$

Donc, en égalant ces trois moments à zéro, et supprimant le facteur commun $ll'l'$, on aura

$$R_2 = Q_3, \quad P_3 = R_1, \quad Q_1 = P_2, \tag{6}$$

pour les trois équations demandées.

Outre les six équations d'équilibre (5) et (6), communes à

tous les points intérieurs du corps, il en existe d'autres que nous formerons dans le n° suivant, et qui appartiennent en particulier aux points de sa surface.

(21) Transportons le point M à une distance insensible de cette surface, mais en dehors de la couche superficielle dans l'épaisseur de laquelle la densité varie très-rapidement (n° 4), et même à une distance de cette couche qui devra être extrêmement grande par rapport au rayon d'activité des molécules. De ce point M, abaissons sur la partie voisine de la surface, une perpendiculaire MO qui la rencontre en un point O. Par ce même point M, menons un plan parallèle au plan tangent en O; sur ce plan parallèle que nous supposerons horizontal pour fixer les idées, prenons, comme dans le n° 16, la surface ω comprenant le point M et de grandeur insensible; puis élevons sur ω le cylindre B qui se termine à la surface, où il interceptera une portion sensiblement égale à ω. Ce cylindre fera partie du petit segment du corps compris entre la surface et le plan horizontal; dans ce segment, concevons, autour de B, un autre cylindre creux C, dont la surface intérieure soit celle de B, et l'épaisseur horizontale, égale au rayon d'activité moléculaire; en sorte que C renferme toutes les molécules du segment, autres que celles de B, qui agiront sur celles-ci.

D'après la position du point M, les formules (3) auront lieu en ce point, et les valeurs de P, Q, R, en étant déduites au moyen des formules (2), les produits $P\omega$, $Q\omega$, $R\omega$, seront les trois composantes, suivant les axes des x, y, z, de la pression exercée sur ω. Représentons aussi par $N\omega$, $N'\omega$, $N''\omega$, les composantes, suivant les mêmes directions, de la pression extérieure qui a lieu à l'autre extrémité de B, ou, autrement

dit, soient N, N', N'', les composantes de la pression rapportée à l'unité de surface et exercée par un moyen quelconque à la surface du corps, qui sera donnée, dans chaque cas, en grandeur et en direction, pour chaque point O, auquel elle répond. Soient enfin Ω, Ω', Ω'', les composantes suivant les axes des x, y, z, de l'action totale des molécules de C sur celles de B. Pour l'équilibre de B, il faudra qu'on ait

$$\begin{aligned} P\omega + N\omega + \Omega &= 0, \\ Q\omega + N'\omega + \Omega' &= 0, \\ R\omega + N''\omega + \Omega'' &= 0, \end{aligned}$$

en négligeant les forces motrices données qui agissent sur B, et qui auraient pour facteur son volume, ou le produit de sa base ω par sa hauteur MO, ce qui les rend effectivement négligeables par rapport aux pressions. Quant aux forces Ω, Ω', Ω'', que nous avons conservées dans les équations précédentes, on peut prouver, d'une manière fort simple, qu'elles sont identiquement nulles.

En effet, l'action totale d'une partie quelconque du corps sur elle-même est zéro, puisque l'action est égale et contraire à la réaction dans chaque couple de molécules; sans altérer les forces Ω, Ω', Ω'', on y peut donc comprendre l'action de B sur ses propres molécules, et considérer, en conséquence, ces trois composantes comme étant celles de l'action totale de C + B sur B. Cela étant, décomposons C + B en séries verticales de molécules. Elles seront toutes sensiblement égales en longueur; et si l'on considère que la densité de la couche superficielle ne varie très-rapidement que dans le sens de son épaisseur verticale, on verra aussi que toutes ces séries ren-

fermeront chacune le même nombre de molécules. Soient S et S′ deux de ces séries, dont la première appartiendra à B, et la seconde à B ou à C, c'est-à-dire, à C + B. Il existera toujours une troisième série S_1 de molécules appartenant également à C + B, dont les centres seront compris dans le même plan que ceux de S et de S′, et telle que les deux séries S_1 et S′ seront également distantes de S. Or, l'action de S sur S_1 sera la même que celle de S′ sur S, et, conséquemment, la réaction de S_1 sur S sera égale et contraire à cette action de S′, quelle que soit la forme des molécules, symétrique ou non de part et d'autre de la ligne de leurs centres. Chacune des séries verticales de molécules appartenantes à B, se trouvera donc soumise à des forces, deux à deux égales et contraires, qui représenteront l'action totale de C + B ou de C sur B; il en sera de même à l'égard du cylindre B tout entier; par conséquent, on aura

$$\Omega = 0, \Omega' = 0, \Omega'' = 0;$$

ce qu'il s'agissait de démontrer.

Ces équations réduiront les précédentes à celles-ci :

$$P + N = 0, \quad Q + N' = 0, \quad R + N'' = 0. \qquad (7)$$

Généralement, les forces N, N′, N″, seront données en fonctions des coordonnées du point O. Les forces P, Q, R, sont des fonctions des coordonnées x, y, z, du point M. Mais comme ces fonctions ne sont pas du genre de celles qui varient très-rapidement, on y pourra, sans erreur sensible, remplacer x, y, z, par les coordonnées de O; et de cette manière, les équations (7) appartiendront à la surface même du corps. La considération des moments des forces qui agis-

sent sur le cylindre B, dont il vient d'être question, ne fournirait aucune autre équation d'équilibre relative à cette surface; en sorte que les équations (7) seront les seules qu'on aura à joindre, dans chaque cas, au système des six équations (5) et (6).

(22) La ligne i que renferment les formules (3) en dehors des signes Σ, ne changera pas dans le passage d'une face à une autre du parallélipipède B. En effet, si l'on fait successivement, dans l'expression du nombre ν du n° 17, $\omega = l'l''$ et $\zeta = l$, $\omega = ll''$ et $\zeta = l'$, $\omega = ll'$ et $\zeta = l''$, les valeurs de ν que l'on obtiendra exprimeront toutes trois le nombre total de molécules contenues dans ce parallélipipède; elles devront donc être égales entre elles; et comme ces valeurs seront le volume $ll'l''$ de B, divisé par les cubes des lignes i qui ont lieu pour les trois faces $l'l''$, ll'', ll', il s'ensuit que les longueurs de ces trois lignes devront aussi être les mêmes. La grandeur insensible de i changera lorsqu'on fera tourner le parallélipipède autour de son sommet M, et sera distincte, en général, de l'intervalle moyen ε des molécules du corps qui correspond à ce point M. Nous conserverons i pour représenter cette ligne dans le parallélipipède dont les trois côtés contigus à M sont parallèles aux axes des x, y, z; pour un autre parallélipipède, ou pour une autre base ω, comprenant le point M, nous désignerons par $\frac{i^3}{\tau}$ le cube de la ligne analogue; en sorte que ν aura augmenté ou diminué, pour des volumes égaux, en passant de l'une des trois bases $l'l''$, ll'', ll', à la base quelconque ω, selon que le nombre τ surpassera l'unité ou sera moindre.

Quant à l'expression de ζ qu'il faudra employer sous les

signes Σ dans les formules (3), pour la former, je mène par le point M une droite MΠ, perpendiculaire au plan de ω et comprise dans le prisme B, puis trois autres droites Mx, My, Mz, parallèles aux axes des x, y, z, et je fais

$$\Pi Mx = \alpha_1, \quad \Pi My = 6_1, \quad \Pi Mz = \gamma_1.$$

La variable ζ représentant, dans les formules (3), la perpendiculaire abaissée du point M′ sur le plan de ω, et regardée comme négative ou comme positive, selon que M′ appartient à la partie du corps qui contient ou qui ne contient pas B, et les coordonnées de M′, rapportées aux axes Mx, My, Mz, étant x', y', z', nous aurons

$$\zeta = -x' \cos\alpha_1 - y' \cos 6_1 - z' \cos\gamma_1,$$

ou, ce qui est la même chose,

$$\zeta = -r(\cos\alpha \cos\alpha_1 + \cos 6 \cos 6_1 + \cos\gamma \cos\gamma_1), \qquad (8)$$

en observant qu'on a

$$x' = r\cos\alpha, \quad y' = r\cos 6, \quad z' = r\cos\gamma.$$

D'après cela, relativement à la base quelconque ω, les formules (3) donneront

$$G = -\frac{\tau\cos\alpha_1}{2i^3}\Sigma r\Phi\cos\alpha - \frac{\tau\cos 6_1}{2i^3}\Sigma r\Phi\cos 6 - \frac{\tau\cos\gamma_1}{2i^3}\Sigma r\Phi\cos\gamma,$$

$$H = -\frac{\tau\cos\alpha_1}{2i^3}\Sigma r\Psi\cos\alpha - \frac{\tau\cos 6_1}{2i^3}\Sigma r\Psi\cos 6 - \frac{\tau\cos\gamma_1}{2i^3}\Sigma r\Psi\cos\gamma,$$

$$K = -\frac{\tau\cos\alpha_1}{2i^3}\Sigma r\Theta\cos\alpha - \frac{\tau\cos 6_1}{2i^3}\Sigma r\Theta\cos 6 - \frac{\tau\cos\gamma_1}{2i^3}\Sigma r\Theta\cos\gamma,$$

en faisant passer $\cos\alpha_1$, $\cos 6_1$, $\cos\gamma_1$, en dehors des signes Σ. Pour en déduire les valeurs des neuf composantes G_1, H_1, etc.,

qui se rapportent aux trois bases $l'l''$, $l''l$, ll', perpendiculaires aux axes des x, y, z, il y faudra faire $\tau = 1$, et, de plus, $\alpha_1 = 0$, $\theta_1 = 90°$, $\gamma_1 = 90°$, pour G_1, H_1, K_1; puis $\alpha_1 = 90°$, $\theta_1 = 0$, $\gamma_1 = 90°$, pour G_2, H_2, K_2; puis $\alpha_1 = 90°$, $\theta_1 = 90°$, $\gamma_1 = 0$, pour G_3, H_3, K_3. De cette manière, on aura

$$G_1 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Phi\cos\alpha,\quad H_1 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Phi\cos\theta,\quad K_1 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Phi\cos\gamma,$$

$$G_2 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Psi\cos\alpha,\quad H_2 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Psi\cos\theta,\quad K_2 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Psi\cos\gamma,$$

$$G_3 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Theta\cos\alpha,\quad H_3 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Theta\cos\theta,\quad K_3 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Theta\cos\gamma;$$

d'où l'on conclut

$$\begin{aligned} G &= \tau(G_1\cos\alpha_1 + H_1\cos\theta_1 + K_1\cos\gamma_1),\\ H &= \tau(G_2\cos\alpha_1 + H_2\cos\theta_1 + K_2\cos\gamma_1),\\ K &= \tau(G_3\cos\alpha_1 + H_3\cos\theta_1 + K_3\cos\gamma_1); \end{aligned}$$

ce qui montre que les trois composantes de la pression exercée au point M sur une base quelconque ω, s'obtiendront sans nouveaux calculs, lorsque l'on connaîtra les composantes relatives aux trois bases rectangulaires aboutissantes à ce point, pourvu que la valeur de τ, relative à la base quelconque, soit aussi donnée.

En substituant ces valeurs de G, H, K, dans les formules (2), et en prenant pour α_1, θ_1, γ_1, les angles que fait la perpendiculaire MO à la surface, avec les parallèles Mx, My, Mz, aux axes des x, y, z, on aura les expressions de P, Q, R, qu'on devra employer dans les équations (7). De même, au moyen des valeurs précédentes de G_1, H_1, etc., substituées dans les formules (4), on aura les valeurs de P_1, Q_1, etc., dont il faudra faire usage dans les équations (5) et (6). Ces der-

nières équations serviront à déterminer, 1° les rapports à la ligne i des intervalles compris entre les centres consécutifs des trois séries de molécules parallèles aux axes des x, y, z, et d'une très-petite étendue à partir du point M, lesquels intervalles seront les différences de grandeurs insensibles, mais finies, d'où dépendront les sommes Σ (n° 15); 2° s'il y a lieu, les angles φ, ψ, θ, compris dans les formules (2) du n° 5, qui doivent être mises à la place de a, b, etc., dans les expressions de P_i, Q_i, etc. Toutefois, ces déterminations ne sont qu'implicites, faute de connaître les lois des forces moléculaires, exprimées par les fonctions Φ, Ψ, Θ, qui seront comprises sous les signes Σ dans les équations (5) et (6). Je dis aussi à l'égard des angles φ, ψ, θ, *s'il y a lieu* de les déterminer; car si l'on suppose, comme dans le n° 5, que, dans le premier état du corps, qui est celui dont il est question actuellement, les axes mobiles des molécules sont parallèles à ceux des coordonnées x, y, z, on n'aura plus ces trois angles à déterminer. Cette hypothèse devra donc rendre identiques, ou faire disparaître trois des six équations (5) et (6); ce qui aura lieu, en effet, par rapport aux équations (6), ainsi qu'on le verra tout à l'heure. Les équations (7) serviront à compléter la détermination implicite des trois premières inconnues, c'est-à-dire à déterminer les quantités arbitraires qui resteraient dans leurs expressions, que l'on tirerait, s'il était possible, des trois équations (5) aux différences partielles.

(23) Dans l'hypothèse dont il s'agit, six des neuf cosinus a, b, etc., seront zéro, et les trois autres, savoir a, b', c'', égaux à l'unité. Les trois composantes quelconques P, Q, R, coïncideront avec G, H, K, et les neuf composantes particulières

P_1, Q_1, etc., avec G_1, H_1, etc. On aura

$$g = \cos\alpha, \quad h = \cos\mathcal{E}, \quad k = \cos\gamma,$$

pour les valeurs de g, h, k, qu'il faudra employer dans les fonctions Φ, Ψ, Θ, et qui feront évanouir six des neuf sommes Σ contenues dans les expressions précédentes de G_1, H_1, etc.

En effet, en tournant autour du point M, la droite MM' passera par deux positions comprises dans un même plan avec l'axe MC, et telles que les valeurs de $\cos\gamma$ y seront égales et de signes contraires, tandis que $\cos\alpha$ et $\cos\mathcal{E}$ auront des valeurs égales et de mêmes signes. Dans ces deux positions, chacune des fonctions Φ et Ψ, où les quantités g, h, k, sont remplacées par $\cos\alpha$, $\cos\mathcal{E}$, $\cos\gamma$, aura aussi, en vertu des équations (11) du n° 14, des valeurs égales et de même signe, et la troisième fonction Θ, des valeurs égales et de signes contraires. Par conséquent, il en résultera

$$\Sigma r\Phi\cos\gamma = 0, \quad \Sigma r\Psi\cos\gamma = 0, \quad \Sigma r\Theta\cos\alpha = 0, \quad \Sigma r\Theta\cos\mathcal{E} = 0,$$

puisque chacune de ces quatre sommes se composera de termes, deux à deux égaux et de signes contraires. Si l'on considère les deux positions de MM' comprises dans un même plan avec l'axe MB, pour lesquelles ce sera $\cos\mathcal{E}$ qui aura des valeurs égales et de signes contraires, et chacun des deux autres cosinus des valeurs égales et de même signe, on trouve également

$$\Sigma r\Phi\cos\mathcal{E} = 0, \quad \Sigma r\Theta\cos\mathcal{E} = 0, \quad \Sigma r\Psi\cos\alpha = 0, \quad \Sigma r\Psi\cos\gamma = 0.$$

De même, en considérant les deux positions de MM', comprises dans un même plan avec l'axe MA, telles que $\cos\mathcal{E}$ et

cos γ auront chacun des valeurs égales et de même signe, et cos α des valeurs égales et de signes contraires, on trouvera

$$\Sigma r\Psi\cos\alpha = 0, \quad \Sigma r\Theta\cos\alpha = 0, \quad \Sigma r\Phi\cos\mathcal{E} = 0, \quad \Sigma r\Phi\cos\gamma = 0.$$

Or, ces douze équations se réduisent à six équations distinctes, qui sont celles qu'il s'agissait d'obtenir.

Il en résultera, d'après les valeurs de G_1, H_1, etc., du numéro précédent,

$$\begin{aligned} P_2 = G_2 = 0, \quad & P_3 = G_3 = 0, \\ Q_1 = H_1 = 0, \quad & Q_3 = H_3 = 0, \\ R_1 = K_1 = 0, \quad & R_2 = K_2 = 0; \end{aligned}$$

et cette égalité à zéro des six quantités P_2, P_3, Q_1, Q_3, R_1, R_2, fera disparaître, comme on l'a dit, les équations (6). Les valeurs des trois autres composantes P_1, Q_2, R_3, seront

$$P_1 = G_1 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Phi\cos\alpha,$$

$$Q_2 = H_2 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Psi\cos\mathcal{E},$$

$$R_3 = K_3 = -\frac{1}{2i^3}\Sigma r\Theta\cos\gamma;$$

d'où il résultera, relativement à une base ω de direction quelconque,

$$\begin{aligned} P = G &= \tau G_1\cos\alpha_1, \\ Q = H &= \tau H_2\cos\mathcal{E}_1, \\ R = K &= \tau K_3\cos\gamma_1. \end{aligned}$$

Les équations (5) se réduiront à

$$X_{\rho_1} = \frac{dG_1}{dx}, \quad Y_{\rho_1} = \frac{dH_2}{dy}, \quad Z_{\rho_1} = \frac{dK_3}{dz}; \qquad (9)$$

de plus, si l'on désigne par λ, μ, ν, les angles que fait la droite MO avec les parallèles Mx, My, Mz, aux axes des

coordonnées, c'est-à-dire, les angles qui doivent être pris pour α_1, β_1, γ_1 dans les équations (7), elles deviendront

$$N + \tau G_1 \cos\lambda = 0,\quad N' + \tau H_2 \cos\mu = 0,\quad N'' + \tau K_3 \cos\gamma = 0;\ (10)$$

et l'on n'aura plus à considérer, pour l'équilibre du corps dans son premier état, que ces équations (9), communes à tous ses points intérieurs, et ces équations (10), relatives aux points de sa surface. La quantité τ que ces dernières renferment, dépendant de la direction de MO, variera d'un point O à un autre. On y pourra regarder λ, μ, ν, comme étant les angles que fait la partie extérieure de la normale à la surface, menée par le point O, avec des parallèles aux axes x, y, z, menées par le même point.

Il suit aussi des valeurs de P_1, Q_1, etc., que, dans le parallélipipède, qu'on a pris pour B, les trois composantes de la pression exercée sur chacune de ses faces ll', ll'', ll', adjacentes à un même sommet, se réduisent à une seule force, savoir, à la composante perpendiculaire à cette face. Ainsi, par exemple, les trois composantes P_1, Q_1, R_1, suivant les axes des x, y, z, de la pression exercée sur la face ll' parallèle au plan des y et z, se réduisent à la première P_1 parallèle à l'axe des x; les deux autres étant nulles, d'après ce qui précède. La pression sur cette face est donc perpendiculaire à son plan; et comme ce plan, quoiqu'on l'ait supposé horizontal pour fixer les idées, peut représenter une section quelconque du corps, faite par le point M, on en conclut qu'en chaque point intérieur la pression moléculaire est normale au plan sur lequel elle s'exerce; ce qui tient à ce que, dans le calcul des pressions, nous avons négligé la variation de la nature et de la disposition des molécules qui peut avoir lieu dans l'étendue de leur sphère d'activité.

(24) Si le premier état du corps est son état naturel, les trois composantes N, N′, N″, de la pression extérieure, seront zéro; en vertu des équations (10), les forces G_1, H_2, K_3 seront donc aussi nulles à la surface; et comme les forces accélératrices X, Y, Z n'existeront pas non plus, on satisfera aux équations (9) en faisant

$$G_1 = 0, \quad H_2 = 0, \quad K_3 = 0,$$

dans toute l'étendue du corps; en sorte que, dans son état naturel, il n'y aura nulle part aucune pression moléculaire; ce qui n'empêche pas, cependant, qu'à raison des irrégularités de la distribution des molécules dans l'étendue de leur sphère d'activité, la résultante des attractions et répulsions qu'elles exercent sur chacune d'elles (n° 15), ne puisse avoir des valeurs autres que zéro, mais qui auraient sa masse pour facteur.

Plus généralement, les forces X, Y, Z, étant toujours nulles, si le corps est soumis, dans son premier état, à une pression extérieure, normale en chaque point à sa surface, dont nous représenterons par Π la grandeur relative au point O et rapportée à l'unité de surface, nous aurons :

$$N = -\Pi\cos\lambda, \quad N' = -\Pi\cos\mu, \quad N'' = -\Pi\cos\nu,$$

en supposant qu'elle soit dirigée de dehors en dedans. Par conséquent, si nous faisons

$$\Pi = \tau\chi,$$

les équations (10) donneront

$$G_1 = H_2 = K_3 = \chi;$$

et, en vertu des équations (9), nous aurons

$$\frac{d\chi}{dx} = 0, \quad \frac{d\chi}{dy} = 0, \quad \frac{d\chi}{dz} = 0,$$

c'est-à-dire que le coefficient χ doit être une quantité constante. Donc, pour l'équilibre d'un corps cristallisé, homogène ou hétérogène, dont les points ne sont sollicités par aucune force accélératrice, mais dont la surface est soumise à une pression normale en chaque point, il est nécessaire et il suffit que cette pression varie d'un point à un autre, proportionnellement à la valeur de τ, qui se rapporte à la direction de la normale.

Cette condition étant remplie, il en résultera

$$G = \tau\chi \cos\alpha_1, \quad H = \tau\chi \cos\beta_1, \quad K = \tau\chi \cos\gamma_1;$$

ce qui montre que, dans l'intérieur de ce corps, la pression en un point quelconque M, normale, comme on l'a dit tout à l'heure, au plan auquel elle répond, variera avec la direction de ce plan, suivant le même rapport que la valeur correspondante de τ.

(25) Occupons-nous maintenant du second état du corps, dans lequel ses molécules ont été très-peu déplacées des positions qu'elles avaient dans le premier, soit par de nouvelles forces extérieures ou intérieures qui se font encore équilibre, soit par des causes quelconques qui les ont mises en mouvement Nous conserverons, par rapport à ces petits déplacements, toutes les notations employées dans le premier paragraphe, et nous continuerons de supposer que, dans le premier état du corps, les axes mobiles des molécules étaient, en tous ses points, parallèles aux axes fixes des x, y, z.

Il suit, de ce qu'on a vu dans le n° 6, qu'en passant du

premier état au second, le prisme droit B se changera en un prisme oblique. Nous appellerons celui-ci B′, et nous désignerons par ω' l'aire de sa base, qui était horizontale et représentée par ω pour B, mais qui aura un tant soit peu changé de grandeur et de direction pour B′. La partie de B, qui se termine au plan horizontal mené par le point N, dont la hauteur était ζ et le volume $\omega\zeta$, aura le produit $\omega'\zeta'$ pour volume, en désignant par ζ' la perpendiculaire abaissée de la nouvelle position de N sur le plan de ω'. En même temps, la ligne de grandeur insensible, représentée par i dans le n° 17, se changera en une pareille ligne i', telle que le rapport $\frac{i'}{i}$ différera très-peu de l'unité. Les parties $\omega\zeta$ et $\omega'\zeta'$ de B et B′ contiendront, l'une et l'autre, les mêmes molécules du corps, dont les nombres seront proportionnels à ces volumes, de sorte qu'en les désignant par ν et ν', nous aurons

$$\nu = \frac{\omega\zeta}{i^3}, \quad \nu' = \frac{\omega'\zeta'}{i'^3}, \quad \nu = \nu',$$

et, par conséquent,

$$\frac{\omega\zeta}{i^3} = \frac{\omega'\zeta'}{i'^3}.$$

Quoique le prisme B′ soit oblique sur sa base, l'action de la partie du corps située au-dessous du plan de ω', qui sera exercée sur B′, se calculera néanmoins comme dans le cas du prisme B; et si l'on désigne par $\omega'G'$, $\omega'H'$, $\omega'K'$, les composantes de cette action, parallèles aux axes mobiles MA, MB, MC, dont les nouvelles directions se seront un tant soit peu écartées de celles des axes fixes des coordonnées, on trouvera, par un raisonnement semblable à

celui qui nous a conduits aux formules (3),

$$G' = \frac{1}{2i'^3}\,\Sigma\zeta' U' \quad H' = \frac{1}{2i'^3}\,\Sigma\zeta' V', \quad K' = \frac{1}{2i'^3}\,\Sigma\zeta' W';$$

équations qu'on peut écrire sous cette autre forme :

$$\omega' G' = \frac{\omega\tau}{2i^3}\,\Sigma\zeta U', \quad \omega' H' = \frac{\omega\tau}{2i^3}\,\Sigma\zeta V', \quad \omega' K' = \frac{\omega\tau}{2i^3}\,\Sigma\zeta W',$$

en les multipliant par ω', ayant égard à l'équation précédente qui résulte de $\nu' = \nu$, et mettant, comme plus haut, $\frac{\tau}{i^3}$ au lieu de $\frac{1}{i'^3}$, de sorte que τ soit une quantité dépendante de la direction du plan de ω autour du point M, et égale à l'unité quand ce plan est parallèle à l'un des trois plans des coordonnées x, y, z.

Après avoir mis les formules (9) du n° 13 à la place de δg, δh, δk, dans les formules (8) du n° 12, je substitue les valeurs de U', V' W', que ces dernières formules représentent, dans les trois équations précédentes; en ayant égard aux formules (3), elles deviennent

$$\begin{aligned}
\omega' G' = \omega G + \frac{\omega\tau}{2i^3}\Big[& \Sigma\zeta r\frac{d\Phi}{dr}\sigma \\
& - \Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dg}\sigma\cos\alpha - \Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dh}\sigma\cos\beta - \Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dk}\sigma\cos\gamma \\
& + \frac{du}{dx}\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dg}\cos\alpha + \frac{dv}{dy}\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dh}\cos\beta + \frac{dw}{dz}\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dk}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{du}{dy} - q\right)\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dg}\cos\beta + \left(\frac{du}{dz} + p\right)\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dg}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{dv}{dx} + q\right)\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dh}\cos\alpha + \left(\frac{dv}{dz} + p'\right)\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dh}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{dw}{dx} - p\right)\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dk}\cos\alpha + \left(\frac{dw}{dy} - p'\right)\Sigma\zeta\frac{d\Phi}{dk}\cos\beta\Big],
\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
\omega' H' = \omega H + \frac{\omega\tau}{2i^3}\Big[& \Sigma\zeta r \frac{d\Psi}{dr}\sigma \\
& - \Sigma\zeta \frac{d\Psi}{dg}\sigma\cos\alpha - \Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dh}\sigma\cos\mathcal{E} - \Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dk}\sigma\cos\gamma \\
& + \frac{du}{dx}\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dg}\cos\alpha + \frac{dv}{dy}\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dh}\cos\mathcal{E} + \frac{dw}{zd}\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dk}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{du}{dy} - q\right)\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dg}\cos\mathcal{E} + \left(\frac{du}{dz} + p\right)\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dg}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{dv}{dx} + q\right)\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dh}\cos\alpha + \left(\frac{dv}{dz} + p'\right)\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dh}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{dw}{dx} - p\right)\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dk}\cos\alpha + \left(\frac{dw}{dy} - p'\right)\Sigma\zeta\frac{d\Psi}{dk}\cos\mathcal{E}\Big],
\end{aligned}
\qquad (11)
$$

$$
\begin{aligned}
\omega' K' = \omega K + \frac{\omega\tau}{2i^3}\Big[& \Sigma\zeta r \frac{d\Theta}{dr}\sigma \\
& - \Sigma\zeta \frac{d\Theta}{dg}\sigma\cos\alpha - \Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dh}\sigma\cos\mathcal{E} - \Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dk}\sigma\cos\gamma \\
& + \frac{du}{dx}\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dg}\cos\alpha + \frac{dv}{dy}\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dh}\cos\mathcal{E} + \frac{dw}{dz}\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dk}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{du}{dy} - q\right)\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dg}\cos\mathcal{E} + \left(\frac{du}{dz} + p\right)\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dg}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{dv}{dx} + q\right)\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dh}\cos\alpha + \left(\frac{dv}{dz} + p'\right)\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dh}\cos\gamma \\
& + \left(\frac{dw}{dx} - p\right)\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dk}\cos\alpha + \left(\frac{dw}{dy} - p'\right)\Sigma\zeta\frac{d\Theta}{dk}\cos\mathcal{E}
\end{aligned}
$$

Dans les différences partielles de Φ, Ψ, Θ, relatives à r, et dans celles qui se rapportent à g, h, k, après les différenciations effectuées, on fera

$$g = \cos\alpha, \quad h = \cos\mathcal{E}, \quad k = \cos\gamma;$$

puis il ne restera plus qu'à substituer sous les signes Σ, au lieu de ζ la formule (8), et à la place de σ la formule (5) du n° 7.

Nous ferons remarquer que le prisme B' n'étant pas per-

pendiculaire au plan de sa base, les composantes $\omega' G'$, $\omega' H'$, $\omega' K'$, de l'action exercée sur B' par la partie du corps située au-dessous de ce plan, ne sont pas, dans le second état du corps, les composantes de la pression sur cette base et relative au point M, ni G', H', K', les composantes de cette pression, rapportée à l'unité de surface, telle qu'elle a été définie dans le n° 16. Si l'on désigne par $\omega' P'$, $\omega' Q'$, $\omega' R'$, les composantes de cette même action, parallèles aux axes des x, y, z, les valeurs de P', Q', R', seront données par les formules (2), en y mettant G', H', K', à la place de G, H, K, et augmentant a, b, etc., des petits accroissements δa, δb, etc., positifs ou négatifs, que ces cosinus éprouvent dans le passage du premier au second état du corps, et dont les valeurs sont données par les formules (3) du n° 5. De cette manière, en négligeant le produit de chacun de ces accroissements par l'une des différences $G' - G$, $H' - H$, $K' - K$, on aura d'abord

$$\begin{aligned} P' &= G' + G\delta a + H\delta b + K\delta c , \\ Q' &= H' + G\delta a' + H\delta b' + K\delta c' , \\ R' &= K' + G\delta a'' + H\delta b'' + K\delta c'' ; \end{aligned}$$

valeurs qui deviennent

$$\left.\begin{aligned} P' &= G' - Hq + Kp, \\ Q' &= H' + Gq + Kp', \\ R' &= K' - Gp - Hp', \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

d'après celles de δa, δb, etc.

(26) Il s'agit actuellement d'appliquer les formules (11) et (12), relatives à la base ω' de B', aux trois faces adjacentes au point M du parallélipipède obliquangle, que nous appellerons toujours B', dans lequel s'est changé, en passant du

premier état du corps à son second état, le parallélipipède rectangle, que l'on a pris plus haut pour B.

Les trois côtés l, l', l'', de ce dernier, respectivement parallèles aux axes des x, y, z, deviendront λ, λ', λ'', dans B', d'après les notations du n° 7; et, en vertu des formules de ce numéro, on devra prendre successivement

$$\omega = l'l'', \quad \omega' = \lambda'\lambda'' = l'l''\left(1 + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right),$$
$$\omega = ll'', \quad \omega' = \lambda\lambda'' = ll''\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz}\right),$$
$$\omega = ll', \quad \omega' = \lambda\lambda' = ll'\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}\right),$$

pour les bases de B et B', adjacentes au point M. On aura, dans ces trois cas, pour la direction de la normale MII du n° 22,

$$\cos\alpha_1 = 1, \quad \cos\beta_1 = 0, \quad \cos\gamma_1 = 0,$$
$$\cos\alpha_2 = 0, \quad \cos\beta_2 = 1, \quad \cos\gamma_2 = 0,$$
$$\cos\alpha_3 = 0, \quad \cos\beta_3 = 0, \quad \cos\gamma_3 = 1,$$

et de l'équation (8), on déduira, en conséquence,

$$\zeta = -r\cos\alpha, \quad \zeta = -r\cos\beta, \quad \xi = -r\cos\gamma,$$

pour les trois valeurs correspondantes de la variable ζ.

Nous désignerons ce que deviennent les composantes P', Q', R', G', H', K, relatives à une base quelconque ω', par P'_1, Q'_1, R'_1, G'_1, H'_1, K'_1, pour la base $\lambda'\lambda''$; par P'_2, Q'_2, R'_2, G'_2, H'_2, K'_2, pour $\lambda\lambda''$; par P'_3, Q'_3, R'_3, G'_3 H'_3 K'_3, pour $\lambda\lambda'$.

Au degré d'approximation que nos calculs supposent, on pourra négliger les produits de chacune des différences $G'_1 - G_1$, $H'_1 - H_1$, etc., par l'une des quantités p, p', q; en sorte qu'il suffira de mettre dans la première équation (12), successivement H_1 et K_1, H_2 et K_2, H_3 et K_3 au lieu de H et K;

dans la seconde, G_1 et K_1, G_2 et K_2, G_3 et K_3, au lieu de G et K; dans la dernière, G_1 et H_1, G_2 et H_2, G_3 et K_3, au lieu de G et H. De cette manière, en observant que les six quantités $G_2, G_3, H_1, H_3, K_1, K_2$, sont zéro, nous aurons

$$\left.\begin{array}{lll} P'_1 = G'_1, & P'_2 = C'_2 - H_2 q, & P'_3 = G'_3 + K_3 p, \\ Q'_1 = H'_1 + G_1 q, & Q'_2 = H'_2, & Q'_3 = H'_3 + K_3 p', \\ R'_1 = K'_1 - C_1 p, & R'_2 = K'_2 - H_3 p', & R'_3 = K'_3. \end{array}\right\} (13)$$

Si l'on applique de même les équations (11) aux composantes G'_1, H'_1, etc., G_1, H_1, etc., pour lesquelles on a $\tau = 1$, il en résultera

$$\left.\begin{array}{l} G'_1\left(1 + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Phi_1 \cos\alpha = G_1, \\ H'_1\left(1 + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Psi_1 \cos\alpha = 0, \\ K'_1\left(1 + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Theta_1 \cos\alpha = 0, \\ C'_2\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Phi_1 \cos\beta = 0, \\ H'_2\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Psi_1 \cos\beta = H_2, \\ K'_2\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Theta_1 \cos\beta = 0, \\ G'_3\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Phi_1 \cos\gamma = 0, \\ H'_3\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Psi_1 \cos\gamma = 0, \\ K'_3\left(1 + \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}\right) + \frac{1}{2i^3}\Sigma r\Theta_1 \cos\gamma = K_3, \end{array}\right\} (14)$$

où l'on représente, pour abréger, par Φ_1, Ψ_1, Θ_1, des quantités qui dépendent respectivement et semblablement de Φ, Ψ, Θ, savoir :

$$\Phi_1 = r\frac{d\Phi}{dr}\sigma$$
$$-\frac{d\Phi}{dg}\sigma\cos\alpha - \frac{d\Phi}{dh}\sigma\cos\beta - \frac{d\Phi}{dk}\sigma\cos\gamma$$
$$+\frac{du}{dx}\frac{d\Phi}{dg}\cos\alpha + \frac{dv}{dy}\frac{d\Phi}{dh}\cos\beta + \frac{dw}{dz}\frac{d\Phi}{dk}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{du}{dy} - q\right)\frac{d\Phi}{dg}\cos\beta + \left(\frac{du}{dz} + p\right)\frac{d\Phi}{dg}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{dv}{dx} + q\right)\frac{d\Phi}{dh}\cos\alpha + \left(\frac{dv}{dz} + p'\right)\frac{d\Phi}{dh}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{dw}{dx} - p\right)\frac{d\Phi}{dk}\cos\alpha + \left(\frac{dw}{dy} - p'\right)\frac{d\Phi}{dk}\cos\beta,$$

$$\Psi_1 = r\frac{d\Psi}{dr}\sigma$$
$$-\frac{d\Psi}{dg}\sigma\cos\alpha - \frac{d\Psi}{dh}\sigma\cos\beta - \frac{d\Psi}{dk}\sigma\cos\gamma$$
$$+\frac{du}{dx}\frac{d\Psi}{dg}\cos\alpha + \frac{dv}{dy}\frac{d\Psi}{dh}\cos\beta + \frac{dw}{dz}\frac{d\Psi}{dk}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{du}{dy} - q\right)\frac{d\Psi}{dg}\cos\beta + \left(\frac{du}{dz} + p\right)\frac{d\Psi}{dg}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{dv}{dx} + q\right)\frac{d\Psi}{dh}\cos\alpha + \left(\frac{dv}{dz} + p'\right)\frac{d\Psi}{dh}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{dw}{dx} - p\right)\frac{d\Psi}{dk}\cos\alpha + \left(\frac{dw}{dy} - p'\right)\frac{d\Psi}{dk}\cos\beta,$$

$$\Theta_1 = r\frac{d\Theta}{dr}\sigma$$
$$-\frac{d\Theta}{dg}\sigma\cos\alpha - \frac{d\Theta}{dh}\sigma\cos\beta - \frac{d\Theta}{dk}\sigma\cos\gamma$$
$$+\frac{du}{dx}\frac{d\Theta}{dg}\cos\alpha + \frac{dv}{dy}\frac{d\Theta}{dh}\cos\beta + \frac{dw}{dz}\frac{d\Theta}{dk}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{du}{dy} - q\right)\frac{d\Theta}{dg}\cos\beta + \left(\frac{du}{dz} + p\right)\frac{d\Theta}{dg}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{dv}{dx} + q\right)\frac{d\Theta}{dh}\cos\alpha + \left(\frac{dv}{dz} + p'\right)\frac{d\Theta}{dh}\cos\gamma$$
$$+\left(\frac{dw}{dx} - p\right)\frac{d\Theta}{dk}\cos\alpha + \left(\frac{dw}{dy} - p'\right)\frac{d\Theta}{dk}\cos\beta.$$

Les sommes Σ indiquées dans ces équations (14) se simplifieront beaucoup d'après les remarques du n° 14, qui en feront disparaître plusieurs parties comme étant, ainsi qu'on va le voir, composées de termes deux à deux égaux et de signes contraires, et conséquemment nulles.

(27) Par un raisonnement semblable à celui du n° 23, on trouvera

$$\Sigma r^2 \frac{d\Phi}{dr} \cos^3 6 = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Phi}{dr} \cos^3 \gamma = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Phi}{dr} \cos^2 6 \cos \gamma = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Phi}{dr} \cos 6 \cos^2 \gamma = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Phi}{dr} \cos^2 \alpha \cos 6 = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Phi}{dr} \cos^2 \alpha \cos \gamma = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Phi}{dr} \cos \alpha \cos 6 \cos \gamma = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Psi}{dr} \cos^3 \alpha = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Psi}{dr} \cos^3 \gamma = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Psi}{dr} \cos^2 \alpha \cos \gamma = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Psi}{dr} \cos \alpha \cos^2 \gamma = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Psi}{dr} \cos^2 6 \cos \alpha = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Psi}{dr} \cos^2 6 \cos \gamma = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Psi}{dr} \cos \alpha \cos 6 \cos \gamma = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Theta}{dr} \cos^3 \alpha = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Theta}{dr} \cos^3 6 = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Theta}{dr} \cos^2 \alpha \cos 6 = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Theta}{dr} \cos \alpha \cos^2 6 = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Theta}{dr} \cos^2 \gamma \cos \alpha = 0, \qquad \Sigma r^2 \frac{d\Theta}{dr} \cos^2 \gamma \cos 6 = 0,$$

$$\Sigma r^2 \frac{d\Theta}{dr} \cos \alpha \cos 6 \cos \gamma = 0.$$

Au moyen de ces résultats et de la valeur de σ donnée par la

formule (5) du n° 7, nous aurons

$$\Sigma r^2 \frac{d\Phi}{dr}\sigma\cos\alpha = \frac{du}{dx}\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\cos^3\alpha$$
$$+\frac{dv}{dy}\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\cos\alpha\cos^2\mathcal{C} + \frac{dw}{dz}\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\cos\alpha\cos^2\gamma,$$
$$\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\sigma\cos\mathcal{C} = \left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\cos\alpha\cos^2\mathcal{C},$$
$$\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\sigma\cos\gamma = \left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\cos\alpha\cos^2\gamma,$$

$$\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\sigma\cos\mathcal{C} = \frac{du}{dx}\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\cos^2\alpha\cos\mathcal{C}$$
$$+\frac{dv}{dy}\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\cos^3\mathcal{C} + \frac{dw}{dz}\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\cos^2\gamma\cos\mathcal{C},$$
$$\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\sigma\cos\alpha = \left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\cos^2\alpha\cos\mathcal{C},$$
$$\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\sigma\cos\gamma = \left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\cos^2\gamma\cos\mathcal{C}.$$

$$\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\sigma\cos\gamma = \frac{du}{dx}\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\cos^2\alpha\cos\gamma$$
$$+\frac{dv}{dy}\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\cos^2\mathcal{C}\cos\gamma + \frac{dw}{dz}\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\cos^3\gamma,$$
$$\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\sigma\cos\alpha = \left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\cos^2\alpha\cos\gamma,$$
$$\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\sigma\cos\mathcal{C} = \left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\cos^2\mathcal{C}\cos\gamma.$$

D'après ce qui a été dit dans le n° 14 sur les changements de signes des différences partielles de Φ, Ψ, Θ, par rapport à g, h, k, on trouvera aussi que toutes les sommes Σ qui se rapportent aux produits de l'une de ces différences partielles, de la variable r, et de quatre cosinus, sont nulles, excepté les suivantes, qui ne contiennent que les différences de Φ par rapport à g, de Ψ par rapport à h, de Θ par rapport à k,

et sont au nombre de dix-huit, savoir :

$$\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^4\alpha,\quad \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^4\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^4\gamma,$$
$$\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\cos^2\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\cos^2\gamma,\quad \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\beta\cos^2\gamma,$$

$$\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^4\alpha,\quad \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^4\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^4\gamma$$
$$\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\alpha\cos^2\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\alpha\cos^2\gamma,\quad \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\beta\cos^2\gamma,$$

$$\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^4\alpha,\quad \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^4\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^4\gamma,$$
$$\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\alpha\cos^2\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\alpha\cos^2\gamma,\quad \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\beta\cos^2\gamma;$$

d'où l'on conclura

$$\Sigma\left(\frac{d\Phi}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Phi}{dh}\cos\beta+\frac{d\Phi}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\alpha=$$
$$\frac{du}{dx}\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^4\alpha+\frac{dv}{dy}\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\cos^2\beta+\frac{dw}{dz}\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\cos^2\gamma,$$
$$\Sigma\left(\frac{d\Phi}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Phi}{dh}\cos\beta+\frac{d\Phi}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\beta=$$
$$\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\cos^2\beta,$$
$$\Sigma\left(\frac{d\Phi}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Phi}{dh}\cos\beta+\frac{d\Phi}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\gamma=$$
$$\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\cos^2\gamma,$$

$$\left(\frac{d\Psi}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Psi}{dh}\cos\beta+\frac{d\Psi}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\beta=$$
$$\frac{du}{dx}\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\alpha\cos^2\beta+\frac{dv}{dy}\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^4\beta+\frac{dw}{dz}\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\beta\cos^2\gamma,$$

$$\Sigma\left(\frac{d\Psi}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Psi}{dh}\cos\beta+\frac{d\Psi}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\alpha=$$
$$\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\alpha\cos^2\beta,$$
$$\Sigma\left(\frac{d\Psi}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Psi}{dh}\cos\beta+\frac{d\Psi}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\gamma=$$
$$\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\beta\cos^2\gamma.$$

$$\Sigma\left(\frac{d\Theta}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Theta}{dh}\cos\beta+\frac{d\Theta}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\gamma=$$
$$\frac{du}{dx}\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\alpha\cos^2\gamma+\frac{dv}{dy}\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\beta\cos^2\gamma+\frac{dw}{dz}\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^4\gamma,$$
$$\Sigma\left(\frac{d\Theta}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Theta}{dh}\cos\beta+\frac{d\Theta}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\alpha=$$
$$\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\alpha\cos^2\gamma,$$
$$\Sigma\left(\frac{d\Theta}{dg}\cos\alpha+\frac{d\Theta}{dh}\cos\beta+\frac{d\Theta}{dk}\cos\gamma\right)r\sigma\cos\beta=$$
$$\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\beta\cos^2\gamma.$$

On trouvera de même que, parmi les sommes Σ relatives aux produits de l'une des différences partielles $\frac{d\Phi}{dg}$, $\frac{d\Phi}{dh}$, etc., de la variable r et de deux cosinus, il y en a neuf seulement qui ne sont pas nulles; ce sont les suivantes, qui contiennent les différences partielles de Φ, Ψ, Θ, prises respectivement, par rapport à g, h, k, savoir :

$$\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha,\quad \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\gamma,$$
$$\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\alpha,\quad \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\gamma,$$
$$\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\alpha,\quad \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\beta,\quad \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\gamma.$$

Cela posé, si l'on observe qu'en vertu de l'équation (1) du n° 4, on a

$$\frac{1}{i^3} = \frac{\rho_1}{\rho\varepsilon^3},$$

et si l'on fait, pour abréger,

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\cos^3\alpha + \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\sin^2\alpha\right) = \mathrm{A},$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\cos\alpha\cos^2\mathcal{C} - \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\cos^2\mathcal{C}\right) = \mathrm{A}',$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Phi}{dr}\cos\alpha\cos^2\gamma - \Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\alpha\cos^2\gamma\right) = \mathrm{A}'',$$

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\cos^3\mathcal{C} + \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\mathcal{C}\sin^2\mathcal{C}\right) = \mathrm{B},$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\cos^2\alpha\cos\mathcal{C} - \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\alpha\cos^2\mathcal{C}\right) = \mathrm{B}',$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Psi}{dr}\cos\mathcal{C}\cos^2\gamma - \Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\mathcal{C}\cos^2\gamma\right) = \mathrm{B}'',$$

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\cos^3\gamma + \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\gamma\sin^2\gamma\right) = \mathrm{C},$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\cos^2\alpha\cos\gamma - \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\alpha\cos^2\gamma\right) = \mathrm{C}',$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\left(\Sigma r^2\frac{d\Theta}{dr}\cos^2\mathcal{C}\cos\gamma - \Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\mathcal{C}\cos^2\gamma\right) = \mathrm{C}'',$$

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\mathcal{C} = \mathrm{D}, \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma r\frac{d\Phi}{dg}\cos^2\gamma = \mathrm{D}',$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\alpha = \mathrm{E}, \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma r\frac{d\Psi}{dh}\cos^2\gamma = \mathrm{E}',$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\alpha = \mathrm{F}, \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma r\frac{d\Theta}{dk}\cos^2\mathcal{C} = \mathrm{F}'.$$

les équations (14) deviendront

$$\left.\begin{aligned}
&G'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)+\frac{\rho_1}{\rho}\left(A\frac{du}{dx}+A'\frac{dv}{dy}+A''\frac{dw}{dz}\right)=G_1,\\
&H'_1+\frac{\rho_1}{\rho}\left[\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)B'+\left(\frac{dv}{dx}+q\right)E\right]=0,\\
&K'_1+\frac{\rho_1}{\rho}\left[\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)C'+\left(\frac{dw}{dx}-p\right)F\right]=0,\\
&G'_2+\frac{\rho_2}{\rho}\left[\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)A'+\left(\frac{du}{dy}-q\right)D\right]=0,\\
&H'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)+\frac{\rho_2}{\rho}\left(B'\frac{du}{dx}+B\frac{dv}{dy}+B''\frac{dw}{dz}\right)=H_2,\\
&K'_2+\frac{\rho_2}{\rho}\left[\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)C''+\left(\frac{dw}{dy}-p'\right)F'\right]=0,\\
&G'_3+\frac{\rho_3}{\rho}\left[\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)A''+\left(\frac{du}{dz}+p\right)D'\right]=0,\\
&H'_3+\frac{\rho_3}{\rho}\left[\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)B''+\left(\frac{dv}{dz}+p'\right)E'\right]=0,\\
&K'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)+\frac{\rho_3}{\rho}\left(C'\frac{du}{dx}+C''\frac{dv}{dy}+C\frac{dw}{dz}\right)=K_3,
\end{aligned}\right\}\quad(15)$$

en divisant celles qui renferment $H'_1, K'_1, G'_2, K'_2, G'_3, K'_3$, par les coefficients de ces quantités, et, négligeant toujours les carrés et les produits de $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc., p', p, q.

Non-seulement les quantités A, A′, etc., que ces formules renferment dépendent de la nature du cristal que l'on considère; mais, pour un même cristal et en un même point M, elles dépendent aussi de la direction des axes des coordonnées x, y, z, que l'on aura choisis arbitrairement, et avec lesquels on aura fait coïncider les axes mobiles des molécules dans le premier état de ce corps. Toutefois, quand ces quantités seront connues pour des axes déterminés, on en déduira, sans avoir de nouvelles sommes Σ à considérer, leurs

valeurs relatives à tous autres axes rectangulaires, au moyen des règles de la composition des forces appliquées à l'action mutuelle des deux molécules voisines m et m', et des formules connues qui expriment les rapports entre les cosinus des angles que fait la droite MM′ avec des parallèles aux premiers et aux seconds axes, menées par le point M.

(28) Maintenant, nous pouvons former les équations d'équilibre du corps dans son second état, soit celles qui sont relatives à ses points intérieurs, soit celles qui se rapportent aux points de sa surface.

Les forces $P'_1\,\lambda'\lambda''$, $Q'_1\,\lambda'\lambda''$, $R'_1\,\lambda'\lambda''$, relatives à la face $\lambda'\lambda''$ de B′, qui a le point M pour un de ses sommets, étant exprimées en fonctions des coordonnées primitives x, y, z, de ce point quelconque, il s'ensuit que les forces analogues qui répondent à la face parallèle, se déduiront de ces fonctions en y remplaçant x, y, z, par les coordonnées primitives $x + l, y, z$, du sommet analogue dans cette autre face, c'est-à-dire du sommet qui se trouvait avec M sur la même parallèle à l'axe des x, dans le premier état du corps. En négligeant le carré de l, on aura donc

$$-\frac{d.P'_1\lambda'\lambda''}{dx}\,l, \quad -\frac{d.Q'_1\lambda'\lambda''}{dx}\,l, \quad -\frac{d.R'_1\lambda'\lambda''}{dx}\,l,$$

pour les accroissements de $P'_1\,\lambda'\lambda''$, $Q'_1\,\lambda'\lambda''$, $R''_1\,\lambda'\lambda''$, lorsque l'on passe de la première face $\lambda'\lambda''$ à la seconde, et que l'on considère ces différences de forces opposées comme agissantes sur le parallélipipède B′, dans le sens même des coordonnées de M. On trouvera de la même manière

$$-\frac{d.P'_2\lambda\lambda''}{dy}\,l', \quad -\frac{d.Q'_2\lambda\lambda''}{dy}\,l', \quad -\frac{d.R'_2\lambda\lambda''}{dz}\,l',$$

pour les forces semblables correspondantes aux deux faces $\lambda\lambda''$, et

$$-\frac{d.P'_3\lambda\lambda'}{dz}\,l'', \quad -\frac{d.Q'_3\lambda\lambda'}{dz}\,l'', \quad \frac{d.R'_3\lambda\lambda'}{dz}\,l'',$$

pour celles qui répondent aux deux faces $\lambda\lambda'$

Par conséquent, si l'on a égard aux valeurs précédentes de $\lambda\lambda''$, $\lambda\lambda''$, $\lambda\lambda'$, les composantes totales des forces moléculaires, agissantes sur B′ et respectivement parallèles aux axes des x, y, z, auront pour expressions

$$-\left[\frac{d.P'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)}{dx}+\frac{d.P'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)}{dy}+\frac{d.P'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)}{dz}\right]ll'l'',$$

$$-\left[\frac{d.Q'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)}{dx}+\frac{d.Q'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)}{dy}+\frac{d.Q'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)}{dz}\right]ll'l'',$$

$$-\left[\frac{d.R'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)}{dx}+\frac{d.R'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)}{dy}+\frac{d.R'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)}{dz}\right]ll'l''.$$

Les forces accélératrices données et parallèles à ces axes, qui étaient appliquées, dans le premier état du corps, aux mêmes molécules dont B′ se compose, ayant été représentées par X, Y, Z, nous les désignerons par $X+X'$, $Y+Y'$, $Z+Z'$, dans le second. Comme la densité de B′, ou la densité de B qui était ρ_1, s'est changée en $(1-s)\,\rho_1$, dans le second état du corps (n° 7), et que le volume de B′ est égal au produit $\lambda\lambda'\lambda''$, il s'ensuit qu'on aura

$$(X+X')(1-s)\rho_1\lambda\lambda'\lambda'', \quad (Y+Y')(1-s)\rho_1\lambda\lambda'\lambda'', \quad (Z+Z')(1-s)\rho_1\lambda\lambda'\lambda'',$$

pour les composantes des forces motrices données, qui sont

appliquées à B', et dans lesquelles on fera

$$(1-s)\lambda\lambda'\lambda'' = l'l''$$

d'après ce que s représente. En les ajoutant aux composantes précédentes des forces moléculaires qui leur correspondent, et en égalant les trois sommes à zéro, nous aurons donc trois des six équations d'équilibre de ce parallélipipède obliquangle; et en tenant compte des équations (9), relatives au premier état du corps, et supprimant le facteur $l'l''$ commun à tous les termes, on obtiendra d'abord, pour ces trois équations relatives à son second état,

$$X'_{\rho_1} = \frac{d\left[P'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)-G_1\right]}{dx} + \frac{d.\ P'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)}{dy} + \frac{d.\ P'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)}{dz},$$

$$Y'_{\rho_2} = \frac{d\left[Q'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)-H_2\right]}{dy} + \frac{d.\ Q'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)}{dx} + \frac{d.\ Q'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)}{dz},$$

$$Z'_{\rho_3} = \frac{d\left[R'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)-K_3\right]}{dz} + \frac{d.\ R'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)}{dx} + \frac{d.\ R'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)}{dy}.$$

En vertu des formules (13), et si l'on continue de négliger les produits de $\frac{du}{dx}$, $\frac{dv}{dy}$, $\frac{dw}{dz}$, par l'une des trois inconnues p, p', q, aussi bien que par l'une des six quantités G'_2,

G'_3, H'_1, H'_3, K'_1, K'_2, dont les valeurs sont du même ordre de petitesse que $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc., nos trois équations d'équilibre deviendront

$$\left.\begin{aligned}
X'_{\rho_2} &= \frac{d\left[G'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)-G_1\right]}{dx} \\
&\quad + \frac{d(G'_2-H_2 q)}{dy} + \frac{d(G'_3+K_3 p)}{dz}, \\
Y'_{\rho_2} &= \frac{d\left[H'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)-H_2\right]}{dy} \\
&\quad + \frac{d(H'_1+G_1 q)}{dx} + \frac{d(H'_3+K_3 p')}{dz}, \\
Z'_{\rho_2} &= \frac{d\left[K'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)-K_3\right]}{du} \\
&\quad + \frac{d(K'_1-G_1 p)}{dx} + \frac{d(K'_2-H_3 p')}{dy},
\end{aligned}\right\} \quad (16)$$

où il ne restera plus qu'à substituer à la place de G'_1, G'_2, etc., leurs expressions tirées des équations (15).

(29) En formant les trois autres équations d'équilibre de B', on pourra, comme précédemment (n° 20), négliger les moments des forces motrices données, et n'avoir égard qu'à ceux des forces moléculaires relatives aux six faces de ce parallélipipède. On pourra aussi regarder les forces $P'_1\lambda'\lambda'$, $Q'_1\lambda'\lambda''$, $R'_1\lambda'\lambda''$, qui se rapportent au parallélogramme $\lambda\lambda''$, dont un des sommets est M, comme étant appliquées à l'intersection de ses deux diagonales, et considérer également comme étant appliquées à l'intersection des deux diagonales de la face opposée, les forces relatives à cette face, dont on réduira

en même temps les valeurs à $-P'_1\lambda'\lambda''$, $-Q'_1\lambda'\lambda''$, $-R'_1\lambda'\lambda''$, en leur donnant le signe convenable au sens de leur action sur B'. Il en sera de même à l'égard des quatre autres faces du parallélipipède. Cela étant, appelons I' l'intersection des trois diagonales de ce parallélipipède; menons par ce point trois droites I'x, I'y, I'z, parallèles aux axes des x, y, z; et prenons ces droites pour axes des moments. Par rapport à chacun de ces axes, les moments des forces parallèles et relatives à deux faces opposées de B', seront égaux, et ils devront s'ajouter, si l'on observe que ces forces tendront à faire tourner B' dans un même sens autour de l'axe de ces moments. Par conséquent, pour déterminer les moments de la totalité des forces moléculaires qui agissent sur B', il suffira de considérer, comme nous allons le faire, celles qui se rapportent aux trois faces adjacentes au point M, et de doubler les résultats.

Dans le premier état du corps, le point I était l'intersection des trois diagonales du parallélipipède rectangle B, qui s'est changé dans le parallélipipède obliquangle B', en passant au second état : les coordonnées de I sont $x + \frac{1}{2}l$, $y + \frac{1}{2}l'$, $z + \frac{1}{2}l''$; en vertu des formules (4) du n° 6, celles de I' seront donc, relativement aux mêmes axes,

$$x + \frac{1}{2}l + u + \frac{1}{2}l\frac{du}{dx} + \frac{1}{2}l'\frac{du}{dy} + \frac{1}{2}l''\frac{du}{dz},$$
$$y + \frac{1}{2}l' + v + \frac{1}{2}l\frac{dv}{dx} + \frac{1}{2}l'\frac{dv}{dy} + \frac{1}{2}l''\frac{dw}{dz},$$
$$z + \frac{1}{2}l'' + w + \frac{1}{2}l\frac{dw}{dx} + \frac{1}{2}l'\frac{dw}{dy} + \frac{1}{2}l''\frac{dw}{dz},$$

De plus, le point d'application des forces $P'_1\lambda'\lambda''$, $Q'_1\lambda'\lambda''$, $R'_1\lambda'\lambda''$, sur la face $\lambda'\lambda''$ de B', adjacente au point M, appar-

tenait primitivement à la face $l'l''$ de B, adjacente également à M, et avait pour coordonnées $x, y + \frac{1}{2}l', z + \frac{1}{2}l''$; il a donc actuellement pour ses coordonnées, par rapport aux mêmes axes

$$x + u + \frac{1}{2}l'\frac{du}{dy} + \frac{1}{2}l''\frac{du}{dz},$$
$$y + \frac{1}{2}l' + v + \frac{1}{2}l'\frac{dv}{dy} + \frac{1}{2}l''\frac{dv}{dz},$$
$$z + \frac{1}{2}l'' + w + \frac{1}{2}l'\frac{dw}{dy} + \frac{1}{2}l''\frac{dw}{dz};$$

par conséquent, les coordonnées rapportées aux axes $I'x$, $I'y$, $I'z$, et comptées dans le sens des x, y, z, seront

$$-\frac{1}{2}l - \frac{1}{2}l\frac{du}{dx}, \quad -\frac{1}{2}l\frac{dv}{dx}, \quad -\frac{1}{2}l\frac{dw}{dx}.$$

Or, on a généralement

$$V'W - W'V, \quad U'V - V'U, \quad W'U - U'W,$$

pour les moments des trois forces U, V, W, appliquées en un point dont les coordonnées sont U', V', W', et dirigées suivant ces coordonnées; ces moments étant rapportés, le premier à l'axe des U', le second à l'axe des W', le troisième à l'axe des V'. Il en résultera donc

$$-\frac{1}{2}l\frac{dv}{dx}R', \lambda'\lambda'' + \frac{1}{2}l\frac{dw}{dx}Q', \lambda'\lambda'',$$
$$-\frac{1}{2}l\left(1 + \frac{du}{dx}\right)Q', \lambda'\lambda'' + \frac{1}{2}l\frac{dv}{dx}P', \lambda'\lambda'',$$
$$-\frac{1}{2}l\frac{dw}{dx}P', \lambda'\lambda'' + \frac{1}{2}l\left(1 + \frac{du}{dx}\right)R', \lambda'\lambda'',$$

pour les moments des trois forces $P', \lambda'\lambda'$, $Q', \lambda'\lambda''$, $R', \lambda'\lambda''$, rapportés respectivement aux axes $I'x$, $I'y$, $I'z$.

On trouvera pareillement, par rapport aux mêmes axes,

$$-\frac{1}{2}l'\left(1+\frac{dv}{dy}\right)R'_2\lambda\lambda''+\frac{1}{2}l'\frac{dw}{dy}Q'_2\lambda\lambda'',$$
$$-\frac{1}{2}l'\frac{du}{dy}Q'_2\lambda\lambda''+\frac{1}{2}l'\left(1+\frac{dv}{dy}\right)P'_2\lambda\lambda'',$$
$$-\frac{1}{2}l'\frac{dw}{dy}P'_2\lambda\lambda''+\frac{1}{2}l'\frac{du}{dy}R'_2\lambda\lambda'',$$

pour les moments des forces $P'_2\lambda\lambda''$, $Q'_2\lambda\lambda''$, $R'_2\lambda\lambda''$, et, ensuite,

$$-\frac{1}{2}l''\frac{dv}{dz}R'_3\lambda\lambda'+\frac{1}{2}l''\left(1+\frac{dv}{dz}\right)Q'_3\lambda\lambda',$$
$$-\frac{1}{2}l''\frac{du}{dz}Q'_3\lambda\lambda'+\frac{1}{2}l''\frac{dv}{dz}P'_3\lambda\lambda',$$
$$-\frac{1}{2}l''\left(1+\frac{dw}{dz}\right)P'_3\lambda\lambda'+\frac{1}{2}l''\frac{du}{dz}R'_3\lambda\lambda',$$

pour ceux des forces $P'_3\lambda\lambda'$, $Q'_3\lambda\lambda'$, $R'_3\lambda\lambda'$.

D'après la manière dont nous avons écrit les trois moments qui se rapportent à chaque axe, ils devront être ajoutés ensemble. En doublant les trois sommes que nous obtiendrons, nous aurons donc les moments de la totalité des forces moléculaires, agissantes sur B', et qu'il faudra égaler à zéro pour l'équilibre de ce parallélipipède. Ces moments complets seront

$$\left(\frac{dw}{dx}Q'_1-\frac{dv}{dx}R'_1\right)l\lambda'\lambda''+\left[\frac{dw}{dy}Q'_2-\left(1+\frac{dv}{dy}\right)R'_2\right]l'\lambda\lambda''$$
$$+\left[\left(1+\frac{dw}{dz}\right)Q'_3-\frac{dv}{dz}R'_3\right]l''\lambda\lambda',$$
$$\left[\left(1+\frac{du}{dx}\right)R'_1-\frac{dw}{dx}P'_1\right]l\lambda'\lambda''+\left(\frac{du}{dy}R'_2-\frac{dw}{dy}P'_2\right)l'\lambda\lambda''$$
$$+\left[\frac{du}{dz}R'_3-\left(1+\frac{dw}{dz}\right)P'_3\right]l''\lambda\lambda',$$
$$\left[\frac{dv}{dx}P'_1-\left(1+\frac{du}{dx}\right)Q'_1\right]l\lambda'\lambda''+\left[\left(1+\frac{dv}{dy}\right)P'_2-\frac{du}{dy}Q'_2\right]l'\lambda\lambda''$$
$$+\left(\frac{dv}{dz}P'_3-\frac{du}{dz}Q'_3\right)l''\lambda\lambda';$$

le premier se rapportant à l'axe I$'x$, le deuxième à l'axe I$'y$, le troisième à l'axe I$'z$.

Par conséquent, en ayant égard aux valeurs de $\lambda'\lambda''$, $\lambda\lambda'''$, $\lambda\lambda'$, et aux formules (13), puis aux formules (15) dans les termes dépendants des quantités $p, p', q, \frac{du}{dx}, \frac{du}{dy}$, etc., par rapport auxquelles on bornera l'approximation au même degré que précédemment, et en supprimant le facteur $l\,l'\,l''$ commun à tous les termes, on trouvera que les équations d'équilibre fournies par la considération des moments, se réduisent à celles-ci :

$$\left.\begin{aligned} &H'_3 - K'_2 + \left(\frac{dw}{dy} + p'\right)H_2 - \left(\frac{dv}{dz} - p'\right)K_3 = 0, \\ &K'_1 - G'_3 + \left(\frac{du}{dz} - p\right)K_3 - \left(\frac{dw}{dx} + p\right)G_1 = 0, \\ &G'_2 - H'_1 + \left(\frac{dv}{dx} - q\right)G_1 - \left(\frac{du}{dy} + q\right)H_2 = 0, \end{aligned}\right\} \quad (17)$$

où il restera encore à substituer les valeurs de G'_2, G'_3, H'_1, H'_3, K'_1, K'_2, données par les formules (15).

(3o) Les équations d'équilibre (16) et (17) sont celles qui se rapportent aux points intérieurs du corps dans son second état. Quant à celles qui appartiennent en particulier aux points de la surface, on les obtiendra par les considérations du n° 21, déjà employées dans le premier état, relativement au prisme ou cylindre droit B et à la normale MO.

En passant de cet état au second, le point M, très-voisin de la surface, en sera encore très-rapproché, aussi bien que de sa première position. Nous appellerons M'' sa nouvelle position, dont les coordonnées seront $x + u, y + v, z + w$, et M'' O'' la série de points appartenants à MO, qui formera encore une ligne droite, mais qui ne sera plus une normale.

On désignera par M'' O' la perpendiculaire à la surface en O', et par λ', μ', ν', les angles que cette droite fait avec des parallèles aux axes des x, y, z, menées par M'', qui différeront très-peu des angles λ, μ, ν, relatifs à la normale MO, de telle sorte que les différences $\cos\lambda' - \cos\lambda$, $\cos\mu' - \cos\mu$, $\cos\nu' - \cos\nu$, seront données par les formules du n° 9. En même temps, la base ω de B changera très-peu de grandeur et de direction; on représentera sa nouvelle étendue par ω'; et le cylindre droit B se transformera en un cylindre oblique B', ayant ω' pour base et M''O'' pour longueur, et composé, dans toute sa masse, des mêmes points du corps que B avant le changement d'état.

Cela posé, représentons par $\omega'P'$, $\omega'Q'$, $\omega'R'$, comme dans le n° 25, les composantes parallèles aux axes des x, y, z, de l'action moléculaire exercée sur B' dans le second état du corps, par la partie qui se termine au plan de ω' et qui ne comprend pas le petit segment. Si l'on décompose cette autre partie en séries de molécules parallèles à M''O'', et bornées, d'une part, au plan de ω', et de l'autre à la surface, on prouvera, par le raisonnement du n° 21, que l'action moléculaire de ce segment sur B' est identiquement nulle. A la rigueur, le cylindre B' étant oblique sur sa base, les composantes $\omega'P'$, $\omega'Q'$, $\omega'R'$, ne sont pas celles de la pression exercée sur ω' dans le second état du corps (n° 25); celles-ci doivent provenir, comme les précédentes, de la portion du corps terminée au plan de ω', mais agissante sur un cylindre droit dont ω' est la base; en sorte qu'en appelant B_1 ce cylindre, et Δ la différence de B' et B_1, l'action de cette portion du corps sur B' devrait être augmentée de l'action positive ou négative, de cette même portion sur Δ. Mais on peut aussi prouver par un raisonnement fort simple, que cette action partielle se réduit à zéro.

En effet, si l'on décompose Δ en parties, d'une épaisseur très-petite, eu égard à son volume entier, par des plans perpendiculaires à ω' et passant par M″O′, les actions de la portion du corps que l'on considère, sur chaque couple de parties correspondantes à un même plan, seront l'une additive et l'autre soustractive, et toutes deux égales, ou différentes seulement de quantités de l'ordre de petitesse des dimensions de ω' et par conséquent négligeables; on pourra donc regarder comme nulle la différence entière Δ ; ce qui permettra de considérer comme égales les composantes ω'P′, ω'Q′, ω'R′, et celles qui appartiennent à la pression, telle qu'elle a été définie dans le n° 17, et qui répondraient à B, ; par conséquent, si l'on représente, par $N + n$, $N' + n'$, $N'' + n''$, les composantes parallèles aux axes des x, y, z, de la pression extérieure, rapportée à l'unité de surface et relative au point O′, dans le second état du corps, qui avaient été désignées par N, N′, N″, dans son premier état et par rapport au point O, il faudra, pour l'équilibre de B′, que l'on ait

$$n + P' - P = 0, \quad n' + Q' - Q = 0, \quad n'' + R' - R = 0,$$

en ayant égard aux équations (7), relatives à l'équilibre de B. Les composantes P, Q, R, sont les mêmes que G, H, K ; et d'après les formules (12), les équations précédentes deviendront

$$\left.\begin{aligned} n + G' - G - Hq + Kp &= 0, \\ n' + H' - H + Gq + Kp' &= 0, \\ n'' + K' - K - Gp - Hp' &= 0, \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

où l'on regardera G′, H′, K′, comme les composantes suivant les axes mobiles en M″, de la pression rapportée à l'unité de surface, et relative à ce point et à ω' dans le second état du corps, de même que l'on considère P′, Q′, R′, comme les

composantes de la même pression suivant les axes fixes des x, y, z. En vertu du n° 23, les quantités G, H, K, auront pour valeurs

$$G = \tau G_1 \cos\lambda, \quad H = \tau H_1 \cos\mu, \quad K = \tau K_1 \cos\nu.$$

La question se réduira donc à former celles de G′, H′, K′, que l'on devra aussi employer dans les équations (18).

Ces expressions seront les formules (11) divisées par ω', et en remplaçant la variable ζ par la formule (8) dans laquelle on mettra les angles λ, μ, ν, au lieu de $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$.

De cette manière, après avoir fait sortir $\cos\lambda$, $\cos\mu$, $\cos\nu$, en dehors des signes Σ dans ces formules, et au moyen des valeurs des sommes Σ que l'on a déterminées plus haut (n° 27), on trouvera, sans nouveaux calculs,

$$G' = (1-\delta)\tau G_1 \cos\lambda - \eta\left(A\frac{du}{dx} + A'\frac{dv}{dy} + A''\frac{dw}{dz}\right)\cos\lambda$$
$$-\eta\left[\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)A' + \left(\frac{du}{dy}-q\right)D\right]\cos\mu - \eta\left[\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)A'' + \left(\frac{du}{dz}+p\right)D'\right]\cos$$

$$H' = (1-\delta)\tau H_1 \cos\mu - \eta\left(B'\frac{du}{dx} + B\frac{dv}{dy} + B''\frac{dw}{dz}\right)\cos\mu$$
$$-\eta\left[\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)B' + \left(\frac{dv}{dx}+q\right)E\right]\cos\lambda - \eta\left[\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)B'' + \left(\frac{dv}{dz}+p'\right)E'\right]\cos$$

$$K' = (1-\delta)\tau K_1 \cos\nu - \eta\left(C'\frac{du}{dx} + C''\frac{dv}{dy} + C\frac{dw}{dz}\right)\cos\nu$$
$$-\eta\left[\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)C' + \left(\frac{dw}{dx}-p\right)F\right]\cos\lambda - \eta\left[\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)C'' + \left(\frac{dw}{dy}-p'\right)F'\right]\cos$$

On a mis pour G, H, K, leurs valeurs précédentes; les quantités A, A′, etc., sont les mêmes que dans les formules (15); et nous faisons

$$\frac{e^3\tau}{i^3} = \eta, \quad \frac{\omega}{\omega'} = 1-\delta.$$

L'intervalle moyen au point M et dans le premier état du corps est représenté, à l'ordinaire, par ε; le rapport $\frac{\tau}{i^3}$ est celui du n° 22, que l'on applique ici à la direction de la normale MO; en conséquence, la quantité η dépend de la nature du cristal au point M, et de cette direction, de sorte qu'on pourra considérer η comme une fonction donnée de $x, y, z, \lambda, \mu, \nu$. Quant à la quantité δ, elle est une fraction de l'ordre de petitesse des variables $\frac{du}{dx}, \frac{du}{dy}$, etc.; ce qui a permis de la conserver seulement dans le premier terme de chacune des formules (18), et de la négliger dans tous les autres. Son expression se déduira, dans le numéro suivant, des formules des n^{os} 7 et 8.

Maintenant, je substitue les formules (19) à la place de G', H', K', dans les équations (18), et en outre les valeurs de G, H, K; il vient finalement

$$
\begin{aligned}
&\tau H_1 \cos\mu + p\tau K_3 \cos\nu - \delta\tau G_1 \cos\lambda \\
&\left(A\frac{du}{dx} + A'\frac{dv}{dy} + A''\frac{dw}{dz}\right)\cos\lambda - \eta\left[\left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx}\right)A' + \left(\frac{du}{dy} - q\right)D\right]\cos\mu \\
&\left[\left(\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx}\right)A'' + \left(\frac{du}{dz} + p\right)D'\right]\cos\nu = 0, \\
&\tau G_1 \cos\lambda + p'\tau K_3 \cos\nu - \delta\tau H_1 \cos\mu \\
&\left[\left(B'\frac{du}{dx} + B\frac{dv}{dy} + B''\frac{dw}{dz}\right)\cos\mu - \eta\left[\left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx}\right)B' + \left(\frac{dv}{dx} + q\right)E\right]\cos\lambda\right. \\
&\left.\left[\left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}\right)B'' + \left(\frac{dv}{dz} + p'\right)E'\right]\cos\nu = 0, \right. \qquad (20) \\
&\tau G_1 \cos\lambda - p'\tau H_1 \cos\mu - \delta\tau K_3 \cos\nu \\
&\left[\left(C'\frac{du}{dx} + C''\frac{dv}{dy} + C\frac{dw}{dz}\right)\cos\nu - \eta\left[\left(\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx}\right)C' + \left(\frac{dw}{dx} - p\right)F\right]\cos\lambda\right. \\
&\left.\left[\left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}\right)C'' + \left(\frac{dw}{dy} - p'\right)F'\right]\cos\mu = 0, \right.
\end{aligned}
$$

pour les équations d'équilibre relatives aux points de la surface dans le second état du corps.

(31) La quantité $\frac{\omega'}{\omega} - 1$ exprime la dilatation de la base ω de B, quand ω se change en ω' et B en B', c'est-à-dire, quand le corps passe de son premier à son second état. Or, si l'on néglige le carré de δ, on a $\frac{\omega'}{\omega} - 1 = \delta$; cette dilatation est donc la fraction δ qu'il s'agit de connaître.

Pour y parvenir, je suppose, comme dans le n° 8, que l'on fasse tourner autour du point M, le parallélipipède rectangle dont les trois faces adjacentes à ce point sont parallèles aux plans des x, y, z, dans le premier état du corps, et que par cette rotation, les directions des trois nouveaux côtés deviennent des parallèles à trois axes rectangulaires de coordonnées x_1, y_1, z_1. Je prends pour ω le plan des côtés parallèles aux axes des x_1 et y_1. Dans le passage, au second état du corps, je désigne par u_1, v_1, w_1 les déplacements de M parallèlement aux axes des x_1, y_1, z_1. Cela étant, puisque la dilatation de la face parallèle aux x et y, a pour expression $\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}$ d'après le n° 7, il s'ensuit que la dilatation de ω s'en déduira par le changement de x, y, u, v, en x_1, y_1, u_1, v_1; par conséquent, on aura

$$\delta = \frac{du_1}{dx_1} + \frac{dv_1}{dy_1} = \frac{du_1}{dx_1} + \frac{dv_1}{dy_1} + \frac{dw_1}{dz_1} - \frac{dw_1}{dz_1}.$$

Mais en désignant par s la dilatation cubique du corps au point M, et ayant égard au n° 8, on a

$$\frac{du_1}{dx_1} + \frac{dv_1}{dy_1} + \frac{dw_1}{dz_1} = s.$$

De plus, la dilatation linéaire en ce même point étant $\frac{du}{dz}$,

suivant la direction des z, en vertu du n° 7, on en conclut que cette dilatation suivant la direction des z_1, a $\frac{dw_1}{dz_1}$ pour expression; on aura donc aussi

$$\frac{dw_1}{dz_1} = \sigma$$

où l'on mettra pour σ la formule du n° 7, dans laquelle il faudra remplacer α, 6, γ, par les angles λ, μ ν, en observant que l'axe des z_1, perpendiculaire au plan de ω, coïncide avec la normale MO correspondante à ces derniers angles. De cette manière, nous aurons

$$\delta = s - \sigma;$$

ce qui montre d'abord que la dilatation d'une surface plane est égale à la dilatation cubique, diminuée de la dilatation linéaire dans le sens de la normale à son plan. Si nous mettons actuellement à la place de σ et s, les formules (5) et (6) du n° 7, nous aurons

$$\delta = \frac{du}{dx}\sin^2\lambda + \frac{dv}{dy}\sin^2\mu + \frac{dw}{dz}\sin^2\nu \qquad (21)$$

$$-\left(\frac{du}{dy}+\frac{du}{dx}\right)\cos\lambda\cos\mu - \left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\cos\lambda\cos\nu - \left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\cos\mu\cos\nu;$$

ce qu'il s'agissait de trouver.

(32) La substitution faite de cette formule à la place de δ dans les équations (20), les diverses quantités qu'elles renferment, moins les composantes n, n', n'', seront des fonctions des coordonnées de M, dépendantes de la constitution et de la forme du cristal près de sa surface, et du déplacement de ses molécules; mais ces fonctions, connues ou inconnues,

n'étant pas du genre de celles qui varient très-rapidement, on y pourra, sans erreur sensible, remplacer x, y, z, par les coordonnées du point O′ de la surface même.

Par rapport à la pression extérieure, le cas le plus ordinaire et qui méritera d'être considéré spécialement, est celui où cette force sera normale à la surface dans les deux états successifs du corps. En la représentant pour l'unité de surface, par Π au point O dans le premier état et par $\Pi + \varpi$ au point O′ dans le second état, supposant qu'elle est dirigée de dehors en dedans, et observant que la partie extérieure de la normale fait avec les directions des x, y, z, les angles λ, μ, ν, au point O, et les angles λ', μ', ν', au point O′, on aura

$$N = -\Pi\cos\lambda, \quad N' = -\Pi\cos\mu, \quad N'' = -\Pi\cos\nu,$$
$$N+n = -(\Pi+\varpi)\cos\lambda', \quad N'+n' = -(\Pi+\varpi)\cos\mu', \quad N''+n'' = -(\Pi+\varpi)\cos\nu',$$

et, par conséquent,

$$\begin{aligned} n &= -\varpi\cos\lambda - (\Pi+\varpi)(\cos\lambda' - \cos\lambda),\\ n' &= -\varpi\cos\mu - (\Pi+\varpi)(\cos\mu' - \cos\mu),\\ n'' &= -\varpi\cos\nu - (\Pi+\varpi)(\cos\nu' - \cos\nu). \end{aligned}$$

La quantité ϖ sera une fonction des coordonnées du point O′ ; mais on pourra la remplacer par la même fonction de celles de O : car, si l'on suppose que ϖ se rapporte effectivement au point O, et si l'on représente par $\varpi(1+f)$ ce qu'elle devient au point O′, la fraction f sera de l'ordre de petitesse des déplacements moléculaires; donc, après la substitution de ces valeurs de n, n', n'', si l'on divise les équations (20) par

$1 + f$, cette fraction n'entrant plus que dans des termes du même ordre de petitesse, il sera permis d'en faire abstraction, vu le degré d'approximation que nos calculs supposent.

La considération immédiate des composantes G', H', K', ou P', Q', R,' qui ne sont pas celles de la pression moléculaire (n° 25), nous avait suffi pour former les équations d'équilibre (16) et (17), relatives aux points intérieurs. Mais, pour obtenir les équations qui se rapportent à la surface, il a fallu prouver que les composantes directement calculées sont équivalentes en grandeur à celles de la véritable pression, de même que la pression extérieure qui a lieu au point O', est toujours, quelle que soit sa cause, l'action d'une force sur les molécules du cylindre normal B,, voisines de ce point. Si le corps est plongé dans un fluide, par exemple, cette pression extérieure, n'est autre chose que la résultante des attractions et répulsions des molécules de ce fluide sur celles du cylindre ; par conséquent, pour l'équilibre de B', il était nécessaire d'opposer à cette force l'action moléculaire du corps, exercée sur le même cylindre à son autre extrémité M", c'est-à-dire la pression moléculaire en ce point, telle qu'elle a été définie dans le n° 16.

C'est non-seulement pour un point voisin de la superficie, mais aussi pour tout autre point intérieur dont les coordonnées sont x, y, z, dans le premier état du corps, que les forces G', H', K', déterminées par les équations (19), exprimeront, relativement à ce point après son déplacement, les grandeurs des composantes suivant les axes mobiles des molécules, de la pression rapportée à l'unité de surface, qui répond à la section du corps passant par le point donné, dont la normale faisait

primitivement les angles λ, μ, ν, avec des parallèles aux axes des x, y, z, et fait, avec ces mêmes droites, les angles λ', μ', ν', dans le second état du corps. Quant aux composantes P', Q', R', de la même force suivant les directions fixes, elles se déduiront de G', H', K', comme il a été dit dans le numéro 30, au moyen des équations (12); en sorte qu'en y mettant, en outre, pour G, H, K, leurs valeurs, nous aurons

$$\begin{aligned} P' &= G' - \tau(H_2 q \cos\mu - K_3 p \cos\nu), \\ Q' &= H' + \tau(G_1 q \cos\lambda + K_3 p' \cos\nu), \\ R' &= K' - \tau(G_1 p \cos\lambda + H_2 p' \cos\mu). \end{aligned}$$

On peut remarquer qu'en négligeant toujours les carrés et les produits de p, p', q, ainsi que les produits de l'une de ces inconnues par les quantités G', H', K', diminuées respectivement des valeurs de G, H, K, on en conclura

$$P'^2 + Q'^2 + R'^2 = G'^2 + H'^2 + K'^2;$$

de manière que la pression rapportée à l'unité de surface aura la même valeur, comme cela doit être, soit qu'on la déduise de ses composantes G', H', K', soit qu'on l'exprime au moyen de ses composantes P', Q', R'.

(33) Pour étendre au cas du mouvement, les équations qui se rapportent au second état du corps, il suffira, conformément à la règle ordinaire, de remplacer, dans les équations (16), les forces accélératrices X', Y', Z', par

$$X' - \frac{d^2u}{dt^2}, \quad Y' - \frac{d^2v}{dt^2}, \quad Z' - \frac{d^2w}{dt^2};$$

u, v, w, étant alors, au bout du temps quelconque t et parallè-

lement aux axes des x, y, z, les distances du point quelconque M à la position déterminée par ses trois coordonnées, qu'il occupait dans le premier état du corps. Il n'y aura aucune modification à faire subir aux équations (17) et (20). Si, dans le second état, les molécules ont été écartées par un moyen quelconque, de leurs positions initiales, puis abandonnées à leurs actions mutuelles, sans addition d'aucune nouvelle force accélératrice, il faudra, après le remplacement de X', Y', Z' par les forces accélératrices relatives à l'état de mouvement, prendre $X' = 0$, $Y' = 0$, $Z' = 0$; ce qui revient à faire, avant ce changement,

$$X' = -\frac{d^2u}{dt^2}, \quad Y' = -\frac{d^2v}{dt^2}, \quad Z' = -\frac{d^2w}{dt^2}.$$

Lorsque les expressions de u, v, w, auront été déterminées en fonctions de t, x, y, z, les équations (17) feront connaître immédiatement et sans nouvelle intégration, les valeurs des trois autres inconnues p, p', q. On pourra aussi se servir de ces trois équations (17) pour éliminer p, p', q, des équations (16) et (20). De cette manière, on obtiendra, pour la détermination de u, v, w, trois équations aux différences partielles à quatre variables indépendantes t, x, y, z, linéaires, à coefficients variables dans le cas général d'un corps hétérogène. Cette dernière circonstance rendra à peu près impossible toute intégration de ces équations qui puisse conduire à quelques conséquences simples et utiles. C'est pourquoi on se bornera, dans la suite de ce Mémoire, à considérer le cas d'un corps homogène; ce qui rendra constants les coefficients des équations en u, v, w. Si ce corps est limité en tous sens par une surface déterminée, les valeurs initiales ou correspondantes à

$t=0$, des distances u, v, w, et des vitesses $\frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{dw}{dt}$, seront données dans chaque cas particulier, pour toute son étendue, c'est-à-dire pour toutes les valeurs de x, y, z, qui répondront à des points de sa masse; les équations (20), abstraction faite de p, p', q, concourront alors, avec les données initiales, à la détermination complète des quantités arbitraires qui resteront dans les expressions de u, v, w, tirées des équations aux différences partielles, dont elles dépendent. Si, au contraire, le corps que l'on considère est illimité en tous sens, qu'il s'agisse, par exemple, de la propagation du mouvement dans un milieu indéfini, les valeurs initiales de u, v, w, $\frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{dw}{dt}$, seront données pour toutes les valeurs réelles de x, y, z, positives ou négatives, depuis $-\infty$ jusqu'à $+\infty$; elles suffiront alors pour la détermination complète des fonctions arbitraires contenues dans les expressions de u, v, w, à un instant quelconque, ou en fonctions de t, x, y, z; ce qui rendra inutile la considération des équations (20), qui, d'ailleurs, n'auront plus lieu dans un pareil cas.

(34) Afin de vérifier par un exemple le système des équations (16), (17), (20), nous en ferons l'application au cas particulier d'un corps homogène et non cristallisé, dans lequel les équations d'où dépendent les inconnues u, v, w, sont connues, soit pour les points intérieurs, soit pour ceux de la surface.

Dans ce cas, nous aurons (n° 12)

$$\Phi=-fr\cos\alpha, \quad \Psi=-fr\cos\beta, \quad \Theta=-fr\cos\gamma;$$

fr représentant une force motrice, positive ou négative, selon qu'elle tend à augmenter ou à diminuer la distance r dont

elle dépend uniquement, et qui s'évanouit dès que cette variable a une grandeur sensible; et les quantités g, h, k, comprises en général dans les fonctions Φ, Ψ, Θ, étant ici remplacées par $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$. On en déduit, par conséquent,

$$\frac{d\Phi}{dr} = -\frac{dfr}{dr}\cos\alpha, \quad \frac{d\Psi}{dr} = -\frac{dfr}{dr}\cos\beta, \quad \frac{d\Theta}{dr} = -\frac{dfr}{dr}\cos\gamma,$$
$$\frac{d\Phi}{dg} = -fr, \quad \frac{d\Psi}{dh} = -fr, \quad \frac{d\Theta}{dk} = -fr.$$

Quelles que soient les directions des axes des coordonnées x, y, z, la ligne i qui entre dans les valeurs de G_1, H_2, K_3, du n° 22, sera égale à l'intervalle moyen ε des molécules autour du point M; quand bien même le corps ne serait pas homogène, ces valeurs deviendront

$$G_1 = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\alpha, \quad H_2 = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\beta, \quad K_3 = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\gamma.$$

Tout étant semblable, ou considéré comme tel, dans toutes les directions autour de M, ces trois sommes Σ seront égales entre elles; et, comme on a identiquement

$$\Sigma rfr(\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma) = \Sigma rfr,$$

il en résultera

$$G_1 = H_2 = K_3 = h,$$

en faisant, pour abréger,

$$\frac{1}{6\varepsilon^3}\Sigma rfr = h.$$

La condition de l'état naturel du corps avant les déplacements de ses molécules, se réduira alors à la seule équation

$$\Sigma rfr = 0,$$

qui déterminera implicitement l'intervalle moyen ε dans cet état, en se rappelant que la somme Σ dépend de sa grandeur (n° 15).

Par la même raison de la similitude, les six quantités D, D′, E, E′, F, F′, seront aussi égales entre elles et à $-h$. Les six autres quantités A′, A″, B′, B″, C′, C″, seront encore égales entre elles, ainsi que les trois quantités A, B, C.

La valeur commune de A′, A″, etc., sera l'une des trois quantités égales (n° 27),

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^2\alpha\cos^2\theta = \mathrm{L},$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^2\alpha\cos^2\gamma = \mathrm{L},$$
$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^2\theta\cos^2\gamma = \mathrm{L},$$

dont je représente chacune par L. Je fais aussi,

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^4\alpha = \Lambda.$$

En ajoutant les deux premières expressions de L à cette valeur de Λ, on aura

$$2\mathrm{L} + \Lambda = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^2\alpha.$$

Cette dernière somme Σ sera le tiers de $\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)$; si donc, nous faisons pour abréger,

$$\frac{1}{6\varepsilon^3}\Sigma\left(r^2\frac{dfr}{dr} - rfr\right) = \frac{1}{6\varepsilon^3}\Sigma r^3\frac{d.\frac{1}{r}fr}{dr} = k,$$

nous aurons

$$2\mathrm{L} + \Lambda = -k.$$

Pour obtenir une seconde équation entre L et Λ, je désigne par α_1, $\mathcal{C}_1$, γ_1, les angles que fait la droite MM′ ou r avec trois axes rectangulaires menés arbitrairement par le point M, et par a, b, c, les cosinus des angles compris entre ces trois axes et une parallèle à l'axe des x, menée par le même point, de sorte qu'on ait

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1.$$

D'après une formule connue, on aura aussi

$$\cos\alpha = a\cos\alpha_1 + b\cos\mathcal{C}_1 + c\cos\gamma_1.$$

En substituant cette valeur de $\cos\alpha$ dans l'expression de Λ, et en observant que les parties de cette expression qui contiendront, sous le signe Σ, une puissance impaire de l'une des variables $\cos\alpha_1$, $\cos\mathcal{C}_1$, $\cos\gamma_1$, se détruiront comme étant composées de termes deux à deux égaux et de signes contraires, on aura

$$\begin{aligned}\Lambda = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Big[& a^4\,\Sigma\Big(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\Big)\cos^4\alpha_1 \\ & + b^4\,\Sigma\Big(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\Big)\cos^4\mathcal{C}_1 \\ & + c^4\,\Sigma\Big(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\Big)\cos^4\gamma_1 \\ & + 6a^2b^2\,\Sigma\Big(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\Big)\cos^2\alpha_1\cos^2\mathcal{C}_1 \\ & + 6a^2c^2\,\Sigma\Big(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\Big)\cos^2\alpha_1\cos^2\gamma_1 \\ & + 6b^2c^2\,\Sigma\Big(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\Big)\cos^2\mathcal{C}_1\cos^2\gamma_1\Big]\end{aligned}$$

Toujours à raison de la similitude du corps en tous sens autour du point M, les trois premières sommes Σ seront égales entre elles et à $2\varepsilon^3\Lambda$, et les trois dernières aussi égales entre elles et

à $2\varepsilon^3 L$; cette dernière équation pourra donc s'écrire ainsi :

$$(1 - a^4 - b^4 - c^4)\Lambda = 6(a^2b^2 + a^2c^2 + b^2c^2)\,L;$$

et elle se réduira à

$$\Lambda = 3L$$

en vertu de l'équation identique

$$1 - a^4 - b^4 - c^4 = 2(a^2b^2 + a^2c^2 + b^2c^2)$$

résultante de la relation entre les carrés de a, b, c.

En joignant cette égalité de Λ et $3L$ à la première équation entre Λ et L, on en déduira

$$L = -\frac{1}{5}k,$$

pour la valeur commune de A', A'', etc. On aura, en même temps

$$\Lambda = -\frac{3}{5}k.$$

Enfin, les expressions de A, B, C, du n° 27, deviendront

$$A = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^4\alpha - \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\alpha,$$

$$B = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^4\theta - \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\theta,$$

$$C = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^4\gamma - \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\gamma;$$

les premiers termes de ces trois formules sont égaux entre eux et à Λ, et leurs seconds termes égaux à h ; d'après la valeur de Λ, nous aurons donc

$$A = B = C = -h - \frac{3}{5}k.$$

Au moyen de ces différents résultats, et si l'on observe

que, dans le cas d'un corps non cristallisé, la densité ρ_1 ne diffère pas en chaque point M de la densité correspondante ρ de ce corps, homogène ou hétérogène, trois des neuf équations (15) prendront la forme

$$G'_1\left(1+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)-G_1=h\frac{du}{dx}+\frac{1}{5}k\left(3\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right),$$
$$H'_2\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)-H_2=h\frac{dv}{dy}+\frac{1}{5}k\left(3\frac{dv}{dy}+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right),$$
$$K'_3\left(1+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)-K_3=h\frac{dw}{dz}+\frac{1}{5}k\left(3\frac{dw}{dz}+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right).$$

En même temps, les six autres deviendront

$$G'_2=\frac{1}{5}k\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)+h\left(\frac{du}{dy}-q\right),$$
$$G'_3=\frac{1}{5}k\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)+h\left(\frac{du}{dz}+p\right),$$
$$H'_1=\frac{1}{5}k\left(\frac{dv}{dx}+\frac{du}{dy}\right)+h\left(\frac{dv}{dx}+q\right),$$
$$H'_3=\frac{1}{5}k\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)+h\left(\frac{dv}{dz}+p'\right),$$
$$K'_1=\frac{1}{5}k\left(\frac{dw}{dx}+\frac{du}{dz}\right)+h\left(\frac{dw}{dx}-p\right),$$
$$K'_2=\frac{1}{5}k\left(\frac{dw}{dy}+\frac{dv}{dz}\right)+h\left(\frac{dw}{dy}-p'\right);$$

ce qui, joint à la valeur h de G_1, H_2, K_3, réduira les équations (17) simplement à

$$4hp'=0,\quad -4hp=0,\quad -4hq=0;$$

d'où l'on conclut que les trois inconnues p, p', q, sont nulles, excepté dans le cas de $h=0$, pour lequel elles demeurent indéterminées. Mais cette valeur de h faisant disparaître p, p', q, des équations (17) et (20), nous n'avons pas à nous occuper

de ce cas particulier, et nous aurons toujours

$$G'_2 = h\frac{du}{dy} + \frac{1}{5}k\left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx}\right), \quad G'_3 = h\frac{du}{dz} + \frac{1}{5}k\left(\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx}\right),$$
$$H'_1 = h\frac{dv}{dx} + \frac{1}{5}k\left(\frac{dv}{dx} + \frac{du}{dy}\right), \quad H'_3 = h\frac{dv}{dz} + \frac{1}{5}k\left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}\right),$$
$$K'_1 = h\frac{dw}{dx} + \frac{1}{5}k\left(\frac{dw}{dx} + \frac{du}{dz}\right), \quad K'_2 = h\frac{dw}{dy} + \frac{1}{5}k\left(\frac{dw}{dy} + \frac{dv}{dz}\right).$$

Le corps que nous considérons n'étant pas seulement non cristallisé, mais étant aussi supposé homogène, si l'on suppose en outre que, dans son premier état, ses points ne soient sollicités par aucune force accélératrice, les quantités h et k ne varieront pas d'un point M à un autre, ainsi qu'on le verra dans le numéro suivant. En effectuant les différentiations indiquées dans les équations (16), et d'après les valeurs que nous avons trouvées pour les diverses quantités qu'elles renferment, ces trois équations d'équilibre deviendront alors

$$\left.\begin{aligned}
X'_\rho &= h\left(\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2}\right) \\
&\quad + \frac{1}{5}k\left(3\frac{d^2u}{dx^2} + 2\frac{d^2v}{dxdy} + 2\frac{d^2w}{dxdz} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2}\right), \\
Y'_\rho &= h\left(\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} + \frac{d^2v}{dz^2}\right) \\
&\quad + \frac{1}{5}k\left(3\frac{d^2v}{dy^2} + 2\frac{d^2u}{dxdy} + 2\frac{d^2w}{dydz} + \frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dz^2}\right), \\
Z'_\rho &= h\left(\frac{d^2w}{dx^2} + \frac{d^2w}{dy^2} + \frac{d^2w}{dz^2}\right) \\
&\quad + \frac{1}{5}k\left(3\frac{d^2w}{dz^2} + 2\frac{d^2u}{dzdx} + 2\frac{d^2v}{dzdy} + \frac{d^2w}{dy^2} + \frac{d^2w}{dy^2}\right);
\end{aligned}\right\} \quad (22)$$

On vérifiera qu'elles coïncident avec les équations (12) du n° 24 de mon Mémoire *sur les équations générales de l'équi-*

libre et du mouvement des corps solides, élastiques et des fluides (*), en substituant dans celles-ci les valeurs des neuf quantités P_1, Q_1, etc., du n° 22; observant que les forces accélératrices X', Y', Z', y sont désignées par X, Y, Z; que la quantité K est celle que nous représentons actuellement par h, et la quantité k, égale au cinquième de celle que nous désignons maintenant par la même lettre (22).

De l'équation $i = \varepsilon$ dans toutes les directions des axes des coordonnées x, y, z, il résulte $\tau = 1$, $\eta = 1$, quelle que soit la direction de la normale MO, menée par le point M, très-voisin de la surface. En faisant aussi $p = 0$, $p' = 0$, $q = 0$, dans les équations (20), et ayant égard aux valeurs des autres quantités qu'elles renferment, nous aurons

$$\left.\begin{aligned}
&n + \tfrac{1}{5}k\left[\left(3\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)\cos\lambda+\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\cos\mu+\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\cos\nu\right]\\
&\quad + h\left(\frac{du}{dx}\cos\lambda+\frac{du}{dy}\cos\mu+\frac{du}{dz}\cos\nu-8\cos\lambda\right)=0,\\
&n' + \tfrac{1}{5}k\left[\left(3\frac{dv}{dy}+\frac{du}{dx}+\frac{dw}{dz}\right)\cos\mu+\left(\frac{dv}{dx}+\frac{du}{dy}\right)\cos\lambda+\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\cos\nu\right]\\
&\quad + h\left(\frac{dv}{dx}\cos\lambda+\frac{dv}{dy}\cos\mu+\frac{dv}{dz}\cos\nu-8\cos\mu\right)=0,\\
&n'' + \tfrac{1}{5}k\left[\left(3\frac{dw}{dz}+\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}\right)\cos\nu+\left(\frac{dw}{dx}+\frac{du}{dz}\right)\cos\lambda+\left(\frac{dw}{dy}+\frac{dv}{dz}\right)\cos\mu\right]\\
&\quad + h\left(\frac{dw}{dx}\cos\lambda+\frac{dw}{dy}\cos\mu+\frac{dw}{dz}\cos\nu-8\cos\nu\right)=0,
\end{aligned}\right\}\quad(23)$$

pour les équations d'équilibre relatives à la surface d'un corps homogène et non cristallisé. Elles coïncident aussi

(*) *Journal de l'Ecole polytechnique*, 20e cahier.

avec les équations (13) du n° 25 du Mémoire cité, mais seulement pour le cas de $h = \mathrm{K} = 0$, que ces dernières équations supposent.

Ajoutons encore que les parties des équations (23), indépendantes de n, n', n'', et augmentées respectivement de $h\cos\lambda$, $h\cos\mu$, $h\cos\nu$, auront pour valeurs celles de G', H', K', qui seront données par les équations (19).

(35) Il se présente ici plusieurs remarques à faire sur les équations relatives au cas que nous venons d'examiner et sur les quantités h et k qu'elles renferment.

Observons d'abord que si les sommes Σ, dont ces deux quantités dépendent, pouvaient se convertir en intégrales, on aurait

$$\Sigma rfr = \frac{1}{\varepsilon}\int_0^{r'} rfrdr, \quad \Sigma r^3 \frac{d.\frac{1}{r}fr}{dr} = \frac{1}{\varepsilon}\int_0^{r'} r^3 d.\frac{1}{r}fr;$$

r' étant une valeur de r égale ou supérieure au rayon d'activité moléculaire, ce qui rendrait le produit de fr et de toute puissance positive de r, nul aux deux limites $r = 0$ et $r = r'$. En intégrant par partie, on aurait en conséquence

$$\int_0^{r'} r^3 d.\frac{1}{r}fr = -\int_0^{r'} rfrdr;$$

d'où il résulterait

$$k = \frac{1}{6\varepsilon^3}\Sigma r^3 \frac{d.\frac{1}{r}fr}{dr} = -\frac{1}{6\varepsilon^3}\Sigma rfr = -h.$$

Lors donc que le premier état du corps serait son état naturel, la quantité k serait nulle en même temps que h, et les équations (22) deviendraient impossibles, excepté dans le cas particulier où X', Y', Z' seraient aussi zéro. Cette remarque

suffit pour justifier ce qui a été dit dans le n° 15 sur la nature exceptionnelle des sommes désignées par Σ dans ce Mémoire.

A cause de $\tau = 1$, la pression normale Π, qui agit à la surface du corps dans son premier état, devra être constante (n° 24). On aura

$$h = \Pi,$$

pour la valeur aussi constante de h, laquelle sera positive si la pression extérieure est dirigée de dehors en dedans, comme cela a lieu en général. En remplaçant h par la quantité qu'elle représente, il en résultera

$$\frac{1}{6\varepsilon^3}\Sigma rfr = \Pi,$$

pour l'équation qui déterminera implicitement l'intervalle moyen des molécules; la valeur de ε, que l'on en déduirait, s'il était possible, varierait d'un point M à un autre, dans le cas d'un corps hétérogène; mais celui que nous considérons étant supposé homogène, hypothèse dans laquelle nous comprenons celle d'une égale température en tous ses points, cet intervalle moyen sera constant, et, par suite, la quantité k sera aussi constante.

Je suppose actuellement que, dans son second comme dans son premier état, les points du corps ne soient sollicités par aucune force accélératrice, ou que les forces X′, Y′, Z′, soient zéro; je suppose aussi que, dans le second état ainsi que dans le premier, la surface du corps se trouve soumise à une pression normale et constante en tous ses points, qui sera représentée, comme dans le n° 32, par $\Pi + \varpi$, les valeurs de u, v, w, qui satisferont, dans cette double hypothèse, aux équations (22) et (23), seront

$$u = x\delta, \quad v = y\delta, \quad w = z\delta,$$

en désignant par δ une quantité constante. Elles rendront identiques les équations (22), et réduiront les équations (23) à une seule, savoir :

$$\varpi = (k-h)\delta \qquad (24)$$

en ayant égard à l'équation (21), de laquelle on tire $\delta = 2\delta$, pour ces valeurs de u, v, w. En même temps, les expressions de $\cos\lambda' - \cos\lambda$, $\cos\mu' - \cos\mu$, $\cos\nu' - \cos\nu$, du n° 9, se réduiront à zéro. Les angles λ', μ', ν', ne différant donc pas de λ, μ, ν, il s'ensuit qu'en passant du premier au second état du corps, chaque section plane d'une petite étendue demeurera parallèle à elle-même. Les valeurs de n, n'. n'' du n° 32, seront simplement

$$n = -\varpi\cos\lambda, \quad n' = -\varpi\cos\mu, \quad n'' = -\varpi\cos\nu;$$

et si l'on forme les valeurs de G′, H′, K′, au moyen des premiers membres des équations (23), ainsi qu'il a été dit plus haut, on aura, en vertu de ces mêmes équations,

$$G' = (\Pi + \varpi)\cos\lambda, \quad H' = (\Pi + \varpi)\cos\mu, \quad K' = (\Pi + \varpi)\cos\nu;$$

ce qui montre que la pression moléculaire sera la même en tous sens autour de chaque point du corps, et partout égale à la pression extérieure $\Pi + \varpi$. D'après les formules (5) et (6) du n° 7, on aura

$$\sigma = \delta, \quad s = 3\delta;$$

en sorte que la dilatation linéaire sera aussi la même en tous sens autour de chaque point, et constante, comme la dilatation cubique, dans toute l'étendue du corps. Cette dilatation, due à une augmentation ϖ de la pression extérieure, sera nécessairement négative; on pourra la déterminer par l'expérience en comparant les volumes du corps dans son

premier et dans son second état; si l'on en prend le tiers, on aura la valeur correspondante de δ; et l'équation (24) fera connaître ensuite la valeur de la quantité k, en y joignant les valeurs données de Π et ϖ.

Si l'on désigne par h' ce que h devient dans le second état du corps, c'est-à-dire, après qu'il a éprouvé une dilatation linéaire, égale à δ, l'expression de h' se déduira de celle de h, en y mettant $\varepsilon(1+\delta)$ au lieu de ε, et remplaçant sous le signe Σ la variable r par $r(1+\delta)$; en négligeant le carré de δ, on aura de cette manière,

$$h' = \frac{1-2\delta}{6\varepsilon^3}\Sigma rfr + \frac{\delta}{6\varepsilon^3}\Sigma r^2\frac{dfr}{dr};$$

équation qui peut s'écrire ainsi :

$$h' = h(1-\delta) + k\delta,$$

parce que l'on a

$$\frac{1}{6\varepsilon^3}\Sigma rfr = h, \quad \frac{1}{6\varepsilon^3}\Sigma r^2\frac{dfr}{dr} = k + h;$$

et comme les quantités h et h' sont d'ailleurs égales aux pressions successives Π et $\Pi + \varpi$, il s'ensuit qu'elle coïncide avec l'équation (24), ce qui fournit une vérification de notre analyse.

Dans un corps solide, on est obligé d'exercer une très-grande pression à la surface pour produire une très-petite condensation; l'augmentation aussi très-grande de la pression moléculaire qui en résulte dans l'intérieur provient donc alors d'un très-petit rapprochement des molécules; or, cela ne peut avoir lieu à moins que l'action mutuelle de deux

molécules voisines ne soit la différence de deux forces contraires, dont chacune est extrêmement grande eu égard à cette différence ou à la force apparente; de manière que pour ce très-petit rapprochement, chacune des deux forces contraires varie d'une très-petite fraction de sa propre grandeur, et qu'il s'ensuive néanmoins dans leur différence une variation comparable à sa valeur primitive, ou même bien plus considérable, qui rende, par exemple, la force apparente décuple ou centuple de ce qu'elle était d'abord entre les deux mêmes molécules. C'est tout ce que nous pouvons savoir sur la répulsion et l'attraction dont nous n'observons jamais les effets séparés, et dont l'excès de l'une sur l'autre produit tous les phénomènes que nous pouvons connaître. J'ai déjà eu plusieurs fois l'occasion de faire cette remarque, conforme à ce qui a été avancé au commencement de ce mémoire (n° 2).

La quantité δ étant donc une très-petite fraction, la valeur de k, déterminée par l'équation (24), sera à très-peu près égale à $\frac{\varpi}{\delta}$, pourvu que la pression Π ne soit pas très-grande par rapport à son augmentation ϖ correspondante à δ. Cette constante k est donc généralement très-grande par rapport à h et négative à cause du signe de δ, tandis que la constante h est positive. Réciproquement, pour un même corps, c'est-à-dire, pour une même valeur de k, la condensation $-\delta$ est proportionnelle à l'augmentation de pression ϖ qui l'a produite, et indépendante de la pression primitive Π conformément à l'observation, en excluant toutefois le cas où Π serait un très-grand multiple de ϖ.

A raison de la grandeur de k par rapport à h, les déplacements u, v, w, de chaque molécule, déterminés par les équations (22), seront aussi à très-peu près les mêmes que si h était zéro, ou que le premier état du corps fût son état naturel. Cette dernière remarque peut être étendue aux vibrations moléculaires, et à leurs déplacements en passant d'un état d'équilibre à un autre, dans un corps cristallisé quelconque; et l'on peut regarder ces déplacements u, v, w, comme étant à peu près les mêmes que si les forces G_1, H_2, K_3, relatives à l'état primitif, étaient zéro; résultat que nous admettrons par induction, mais dont on pourrait aussi montrer directement la généralité, par des considérations semblables aux précédentes.

(36) Les quinze quantités A, A', etc., du n° 27, se réduiront à un moindre nombre, lorsque les molécules du cristal seront sphériques, de sorte que la cristallisation ne résultera que de leur distribution régulière autour de chacune d'elles; ce qui n'est qu'un cas particulier, mais plus général que celui d'un corps non cristallisé, dont nous venons de nous occuper.

L'action de chaque molécule sera encore égale suivant toutes les directions sur les molécules voisines; les composantes seront donc les mêmes que dans le n° 34; mais on n'en déduira plus les mêmes conséquences, attendu que les intervalles entre les centres des molécules consécutives varieront régulièrement d'une direction à une autre, et que tout ne sera plus semblable en tous sens autour du centre quelconque M.

En conservant toutes les notations précédentes, et en faisant toujours, comme dans le n° 27

$$\frac{\varepsilon^3}{i^3} = \frac{\rho_1}{\rho},$$

nous aurons d'abord

$$G_1 = \frac{\rho_1}{2\rho\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\alpha,\quad H_2 = \frac{\rho_1}{2\rho\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\theta,\quad K_3 = \frac{\rho_1}{2\rho\varepsilon^3}\Sigma rfr\cos^2\gamma,$$

mais ces trois forces ne seront plus égales entre elles, ni à la quantité h du n° 34 : en faisant leur somme, on aura toujours

$$G_1 + H_2 + K_3 = \frac{\rho_1}{2\rho\varepsilon^3}\Sigma rfr = \frac{\rho_1}{\rho}h.$$

En même temps, nous aurons

$$A = -\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(r^2\frac{dfr}{dr}\cos^2\alpha + rfr\sin^2\alpha\right)\cos^2\alpha,$$
$$B = -\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(r^2\frac{dfr}{dr}\cos^2\theta + rfr\sin^2\theta\right)\cos^2\theta,$$
$$C = -\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(r^2\frac{dfr}{dr}\cos^2\gamma + rfr\sin^2\gamma\right)\cos^2\gamma,$$

$$A' = B' = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^2\alpha\cos^2\theta,$$
$$A'' = C' = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^2\alpha\cos^2\gamma,$$
$$B'' = C'' = \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\left(rfr - r^2\frac{dfr}{dr}\right)\cos^2\theta\cos^2\gamma;$$

ce qui réduira à six quantités distinctes, les neuf quantités A, B, etc.

Quant aux six quantités D, D′, etc., elles se réduiront à trois, qui s'exprimeront au moyen de G_1, H_2, K_3, savoir :

$$D = F' = -\frac{\rho}{\rho_1}H_2,\quad D' = E' = -\frac{\rho}{\rho_1}K_3,\quad E = F = -\frac{\rho}{\rho_1}G_1.$$

Six des formules (15) deviendront, d'après ces réductions,

$$H'_1+\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{dv}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)A'-\left(\frac{dv}{dx}+q\right)G_1=0,$$
$$K'_1+\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)A''-\left(\frac{dw}{dx}-p\right)G_1=0,$$
$$G'_2+\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)A'-\left(\frac{du}{dy}-q\right)H_2=0,$$
$$K'_2+\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)B''-\left(\frac{dw}{dy}-p'\right)H_2=0,$$
$$G'_3+\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)A''-\left(\frac{du}{dz}+p\right)K_3=0,$$
$$H'_3+\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)B''-\left(\frac{dv}{dz}+p'\right)K_3=0;$$

au moyen de quoi les équations (17) se réduiront à

$$2p'(K_3+H_2)=0,\quad -2p(G_1+K_3),\ =0,\quad -2q(H_2+G_1)=0;$$

d'où l'on conclut

$$p=0,\quad p=0,\quad p'=0;$$

Les axes mobiles des molécules ne changent donc pas de directions en passant du premier au second état du cristal; et, en effet, l'action mutuelle de molécules sphériques ne peut aucunement les faire tourner sur elles-mêmes.

Pour plus de simplicité, je supposerai que le premier état du corps soit son état naturel; ce qui rendra nulles les trois quantités G_1, H_2, K_3, et réduira les six formules précédentes à

$$H'_1=-\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)A',\quad K'_1=-\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)A'',$$
$$G'_2=-\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)A',\quad K'_2=-\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)B'',$$
$$G'_3=-\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)A'',\quad H'_3=-\frac{\rho_1}{\rho}\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)B''.$$

Les trois autres formules (15) seront en même temps,

$$G'_1 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left(A\frac{du}{dx} + A'\frac{dv}{dy} + A''\frac{dw}{dz}\right),$$
$$H'_2 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left(B\frac{dv}{dy} + A'\frac{du}{dx} + B''\frac{dw}{dz}\right),$$
$$K'_3 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left(C\frac{dw}{dz} + A''\frac{du}{dx} + B''\frac{dv}{dy}\right),$$

en négligeant les carrés et les produits de $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc., après avoir divisé par les coefficients de G'_1, H'_2, K'_3.

Je suppose aussi que le cristal soit homogène et partout à la même température. En égalant G_1, H_2, K_3, à zéro, on aura les équations

$$\Sigma rfr\cos\alpha = 0, \quad \Sigma rfr\cos\beta = 0, \quad \Sigma rfr\cos\gamma = 0,$$

pour déterminer implicitement les distances entre les centres consécutifs de trois séries rectangulaires de molécules, ou plutôt les rapports à l'intervalle moyen ε, de ces trois distances, d'où dépendent les sommes triples désignées par Σ. Les valeurs de ces rapports seront constantes dans notre hypothèse, et par suite, les quantités A, B, C, A', A'', B'', le seront également. Le rapport $\frac{\rho_1}{\rho}$ dépendra de la direction des axes des coordonnées x, y, z; mais il ne variera pas non plus avec ces coordonnées, quand cette direction aura été déterminée à volonté. Par conséquent, après avoir effectué les différentiations indiquées dans les équations (16), la densité ρ_1 disparaîtra comme étant facteur à leurs deux membres; en les multipliant par ρ, et mettant pour G'_1, H'_1, etc., leurs valeurs précédentes, elles deviendront

$$\left.\begin{aligned}
&X'_\rho + A\frac{d^2u}{dx^2} + A'\frac{d^2u}{dy^2} + A''\frac{d^2u}{dz^2} + 2A'\frac{d^2v}{dxdy} + 2A''\frac{d^2w}{dxdz} = 0,\\
&Y'_\rho + B\frac{d^2v}{dy^2} + A'\frac{d^2v}{dx^2} + B''\frac{d^2v}{dz^2} + 2A'\frac{d^2u}{dxdy} + 2B''\frac{d^2w}{dydz} = 0,\\
&Z'_\rho + C\frac{d^2w}{dz^2} + A''\frac{d^2w}{dx^2} + B''\frac{d^2w}{dy^2} + 2A''\frac{d^2u}{dxdz} + 2B''\frac{d^2v}{dydz} = 0,
\end{aligned}\right\} \quad (25)$$

Les six constantes A, B, C, A′, A″, B″, qu'elles renferment, dépendront de la constitution du cristal, et ne pourront être déterminées que par l'expérience, pour chaque cristal en particulier. Elles dépendront aussi de la direction des axes des x, y, z, mais de manière, ainsi qu'on l'a indiqué à la fin du n° 27, qu'après avoir déterminé leurs valeurs, pour des axes donnés, on en pourra déduire celles qui se rapportent à d'autres axes et au même cristal, sans recourir à de nouvelles observations.

(37) Revenons actuellement au cas général d'un cristal dont les molécules ont une forme quelconque. Supposons-le toujours homogène; et pour simplifier les formules sans influencer notablement sur les résultats, supposons aussi que le premier état de ce corps soit son état naturel.

En supprimant les termes G_1, H_2, K_3, des formules (15), trois d'entre elles donneront

$$\begin{aligned}
G'_1 &= -\frac{\rho_1}{\rho}\left(A\frac{du}{dx} + A'\frac{dv}{dy} + A''\frac{dw}{dz}\right),\\
H'_2 &= -\frac{\rho_1}{\rho}\left(B\frac{dv}{dy} + B'\frac{du}{dx} + B''\frac{dw}{dz}\right),\\
K'_3 &= -\frac{\rho_1}{\rho}\left(C\frac{dw}{dz} + C'\frac{du}{dx} + C''\frac{dv}{dy}\right).
\end{aligned}$$

Si l'on observe que les six autres peuvent toujours s'écrire sous cette forme :

$$H'_1 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left[\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\left(B' + \frac{1}{2}E\right) + \left(\frac{1}{2}\frac{dv}{dx} - \frac{1}{2}\frac{du}{dy} + q\right)E\right],$$

$$K'_1 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left[\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\left(C' + \frac{1}{2}F\right) + \left(\frac{1}{2}\frac{dw}{dx} - \frac{1}{2}\frac{du}{dz} - p\right)F\right],$$

$$G'_2 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left[\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\left(A' + \frac{1}{2}D\right) - \left(\frac{1}{2}\frac{dv}{dx} - \frac{1}{2}\frac{du}{dy} + q\right)D\right],$$

$$K'_2 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left[\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\left(C'' + \frac{1}{2}F'\right) + \left(\frac{1}{2}\frac{dw}{dy} - \frac{1}{2}\frac{dv}{dz} - p'\right)F'\right],$$

$$G'_3 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left[\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\left(A'' + \frac{1}{2}D'\right) - \left(\frac{1}{2}\frac{dw}{dx} - \frac{1}{2}\frac{du}{dz} - p\right)D'\right],$$

$$H'_3 = -\frac{\rho_1}{\rho}\left[\left(\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dy}\right)\left(B'' + \frac{1}{2}E'\right) - \left(\frac{1}{2}\frac{dw}{dy} - \frac{1}{2}\frac{dv}{dz} - p'\right)E'\right],$$

on aura, en vertu des équations (17) dans lesquelles on fera aussi les quantités G_1, H_2, K_3, égales à zéro,

$$\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\left(B'' - C'' + \frac{1}{2}E' - \frac{1}{2}F'\right) = \left(\frac{1}{2}\frac{dw}{dy} - \frac{1}{2}\frac{dv}{dz} - p'\right)\left(E' + F'\right),$$

$$\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\left(A'' - C' + \frac{1}{2}D' - \frac{1}{2}F\right) = \left(\frac{1}{2}\frac{dw}{dx} - \frac{1}{2}\frac{du}{dz} - p\right)\left(D' + E\right),$$

$$\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\left(A' - B' + \frac{1}{2}D - \frac{1}{2}E\right) = \left(\frac{1}{2}\frac{dv}{dx} - \frac{1}{2}\frac{du}{dy} + q\right)\left(D + E\right);$$

d'où l'on tire

$$\left.\begin{aligned} p' + \frac{1}{2}\frac{dv}{dz} - \frac{1}{2}\frac{dw}{dy} &= \left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)A_1, \\ p + \frac{1}{2}\frac{du}{dz} - \frac{1}{2}\frac{dw}{dx} &= \left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)B_1, \\ q + \frac{1}{2}\frac{dv}{dx} - \frac{1}{2}\frac{du}{dy} &= \left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)C_1, \end{aligned}\right\} \quad (26)$$

en faisant pour abréger,

$$C'' - B'' + \tfrac{1}{2} F' - \tfrac{1}{2} E' = (E' + F') A_1,$$
$$C' - A'' + \tfrac{1}{2} F - \tfrac{1}{2} D' = (D' + F) B_1,$$
$$B' - A' + \tfrac{1}{2} E - \tfrac{1}{2} D = (D + E) C_1;$$

au moyen de quoi les formules précédentes deviendront

$$H'_3 = K'_2 = \frac{\rho_1}{\rho} \left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy} \right) A''',$$
$$K'_1 = G'_3 = \frac{\rho_1}{\rho} \left(\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx} \right) B''',$$
$$H'_1 = G'_2 = \frac{\rho_1}{\rho} \left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \right) C''';$$

en faisant aussi, après quelques réductions,

$$C''E' + E'F' + B''F' = (E' + F') A''',$$
$$A''F + D'F + C'D' = (F + D') B''',$$
$$DE + A'E + B'D = (D + E) C'''.$$

Les équations (26) sont celles qui feront connaître les trois inconnues p, p', q, dès que les valeurs de u, v, w, auront été déterminées. Dans le cas du numéro précédent, les quantités A_1, B_1, C_1, et par suite les expressions de p, p', q, se présenteront sous la forme $\frac{0}{0}$; les véritables valeurs de ces inconnues seront $p = 0$, $p' = 0$, $q = 0$.

On verra, comme dans ce numéro, que les quantités A, B, etc., seront constantes, et que la densité ρ_1 disparaîtra des équations (26). En comprenant le diviseur ρ dans ces constantes, c'est-à-dire, en changeant $\frac{1}{\rho} A$, $\frac{1}{\rho} B$, etc., en A,

B, etc., les constantes $\frac{1}{\rho}A'''$, $\frac{1}{\rho}B'''$, $\frac{1}{\rho}C'''$, se changeront également en A''', B''', C''', et les constantes A_1, B_1, C_1, ne changeront pas. Au moyen des formules précédentes, et en supprimant les termes dépendants de G_1, H_2, K_3, les équations (16) deviendront

$$\left.\begin{aligned} X' + A\frac{d^2u}{dx^2} + A'\frac{d^2v}{dxdy} + A''\frac{d^2w}{dxdz} + C'''\frac{d^2u}{dy^2} + B'''\frac{d^2u}{dz^2} = 0, \\ Y' + B\frac{d^2v}{dy^2} + B'\frac{d^2u}{dxdy} + B''\frac{d^2w}{dydz} + C'''\frac{d^2v}{dx^2} + A'''\frac{d^2v}{dz^2} = 0, \\ Z' + C\frac{d^2w}{dz^2} + C'\frac{d^2u}{dzdx} + C''\frac{d^2v}{dzdy} + B'''\frac{d^2w}{dx^2} + A'''\frac{d^2w}{dy^2} = 0, \end{aligned}\right\} (27)$$

où l'on a mis simplement A, B, C, au lieu de —A, —B, —C, et A', A'', B', B'', C', C'', au lieu de C'''—A', B'''—A'', C'''—B', A'''—B'', B'''—C', A'''—C'.

Ainsi, dans le cas le plus général, les équations relatives aux trois inconnues u, v, w, renfermeront douze constantes distinctes A, A', A'', A''', B, B', B'', B''', C, C', C'', C''', dont chacune exprimera, soit pour l'homogénéité des quantités dans les équations (27), soit par leur origine, le produit d'une ligne et d'une force accélératrice, et qui devront être déterminées par l'expérience. Mais pour connaître aussi les valeurs de p, p', q, d'après celles de u, v, w, il faudra déduire en outre de l'observation, les trois constantes numériques A_1, B_1, C_1, que contiennent les équations (28).

Pour appliquer les équations (27) au cas du numéro précédent, il faudra établir entre ces douze constantes les relations

$$A' = 2C''', \quad A'' = 2B''', \quad B' = 2C'',$$
$$B'' = 2A''', \quad C' = 2B''', \quad C'' = 2A''',$$

qui les réduisent à six A, B, C, A''', B''', C''', et qui font coïn-

cider les équations (25), relatives à ce cas particulier, avec les équations (27), après avoir divisé les premières par ρ, et y avoir remplacé $\frac{1}{\rho}A, \frac{1}{\rho}B, \frac{1}{\rho}C, \frac{1}{\rho}A', \frac{1}{\rho}A'', \frac{1}{\rho}B''$, par A, B, C, C‴, B‴, A‴. Lorsque les valeurs des douze constantes A′, A″, A‴, etc., auront été déterminées par des expériences convenables, si l'on ne trouve pas entre elles les relations que nous venons d'écrire, on en pourra conclure que le cristal sur lequel on aura opéré, n'a pas ses molécules sphériques.

On appliquera également les équations (27) au cas d'un corps non cristallisé, en y prenant

$$A=B=C=a^2, \quad A'=A''=B'=B''=C'=C''=\frac{2a^2}{3},$$
$$A'''=B'''=C'''=\frac{a^2}{3};$$

ce qui les fera coïncider avec les équations (22) relatives à ce cas particulier, en supprimant dans celles-ci les termes qui dépendent de h, et désignant par $-a^2$ la valeur négative de $\frac{3k}{5\rho}$.

(38) La question que l'on a traitée dans ce paragraphe, appartient à la dynamique générale des corps solides élastiques. Elle consiste à déterminer les équations de l'équilibre et du mouvement d'un système de particules disjointes, de forme invariable, et soumises à leurs attractions et répulsions mutuelles, dont l'action ne s'étend qu'à des distances insensibles, et varie d'une manière quelconque avec sa direction autour de chaque point, et dont la sphère d'activité comprend néanmoins un nombre excessivement grand de ces particules que nous avons nommées les *molécules* du corps. La solution que l'on en a donnée est indépendante de leur

figure, sur laquelle on n'a eu besoin de faire aucune hypothèse particulière. Cependant il ne sera pas inutile de dire ici quelques mots sur la forme et la composition de ces molécules, d'où dépend la variation de leur action mutuelle, en différents sens et à distances égales autour de chacune d'elles.

Les molécules *constituantes* des corps, distinctes de celles qu'on appelle, en minéralogie, leurs molécules *intégrantes*, sont de grandeur insensible dans toutes leurs dimensions, et ne peuvent être atteintes par aucune division mécanique, quelque loin qu'elle soit poussée. Chaque molécule est composée d'*atomes* ou de parties de matière pondérable, généralement d'espèces différentes, et d'une portion de *calorique*. Les atomes d'une même espèce sont formés d'une matière et ont une figure propres et invariables. Les nombres des atomes de chaque espèce qui entrent dans une molécule, et la manière dont ils s'y disposent pour l'équilibre de leurs attractions et de la répulsion calorifique, en ayant aussi égard, s'il est nécessaire, aux actions qu'elle éprouve de la part des molécules circonvoisines, déterminent la nature et la forme de cette petite masse. La nature chimique des corps dépend de cette nature et de cette forme moléculaires. L'*isométrie* doit être attribuée principalement à ce que des atomes de même espèce et en même nombre pour chaque espèce, peuvent se disposer de plusieurs manières différentes dans les molécules, auxquelles ils donnent, en conséquence, des figures différentes ; elle peut aussi avoir lieu, lorsque les molécules de deux corps sont formées des mêmes sortes d'atomes et en même proportion, mais en nombres différents; circonstance qui peut suffire pour déterminer ces figures

différentes. L'*isomorphisme,* au contraire, provient de ce que des atomes d'espèces diverses peuvent s'arranger dans les molécules de deux corps, de manière que l'action mutuelle de chaque couple de molécules, soit la même à distance égale, suivant les mêmes directions rapportées à des directions homologues dans ces deux corps.

Non-seulement il faut exercer des pressions très-considérables à la surface d'un corps solide, pour produire de faibles condensations dans son intérieur, mais il faut qu'elles soient encore bien plus grandes, pour donner lieu à quelque déformation sensible des molécules, et par suite à quelque changement dans la nature d'un tel corps. Pour se rendre raison de ce résultat constant de l'observation, on doit supposer non-seulement que l'attraction et la répulsion mutuelles de deux molécules voisines sont des forces extrêmement grandes, comme on l'a dit plus haut, eu égard à leur différence, mais on devra aussi admettre que dans l'intérieur de chaque molécule, l'attraction des atomes et la répulsion calorifique sont deux forces extrêmement grandes par rapport à leur différence, et celle-ci, extrêmement grande relativement à la différence des forces attractives et répulsives de deux molécules distinctes, parmi celles qui sont le plus rapprochées l'une de l'autre ; en sorte que la figure de chaque molécule se trouve déterminée principalement par les forces intérieures, et soit très-peu influencée par les actions provenant des molécules circonvoisines. Ainsi, par exemple, si la pression extérieure a été assez considérable pour produire une diminution d'un millième dans l'intervalle moyen des molécules, les variations positives ou négatives des atomes d'une même molécule se seront élevées seulement,

pour fixer les idées, à des fractions ou à de petits nombres de millionièmes. En d'autres termes, les condensations linéaires ou cubiques qui résultent des déplacements moléculaires que l'on a considérés dans ce paragraphe, étant de l'ordre de petitesse des fractions $\frac{du}{dx}$, $\frac{du}{dy}$, etc., les variations des distances des atomes seront encore beaucoup plus petites, et si l'on veut, par exemple, de l'ordre des carrés et des produits de ces mêmes fractions. C'est pour cela que nous les avons négligées, et que nous avons regardé la figure des molécules comme invariable pendant leurs déplacements. Mais si l'on ne regardait pas comme tout à fait insensibles les petites déformations qu'elles peuvent éprouver dans leurs vibrations, et que l'on voulût avoir égard à l'influence de ces variations de figure sur les petits mouvements, on y parviendrait de la manière suivante.

(39) Dans le premier état du corps, représentons par T l'action de la molécule m' sur la molécule m, dont les composantes, suivant les axes mobiles de m, ont été désignées, dans le n° 12, par les fonctions Φ, Ψ, Θ. Cette quantité sera positive ou négative selon qu'elle répondra à une force répulsive ou attractive; pour des molécules m' également éloignées de m, sa grandeur pourra être très-inégale, et même elle pourra avoir des signes différents; mais pour des directions contraires de la ligne MM' ou r, qui va de m' à m, et à la même distance de part et d'autre de m, la force T aura toujours le même signe, et des valeurs qui différeront très-peu l'une de l'autre. Les composantes suivant chaque axe seront à peu près égales, mais de signes contraires; l'ensemble des forces Φ, Ψ, Θ, relatives à toutes les molécules m' comprises dans la sphère d'activité

de m, se réduira, en ayant égard à leurs signes, à une ou deux forces très-petites qui auront la masse de m pour facteur : c'est cette force unique ou ce couple de forces irréductibles à une seule, qui tendra à déplacer le centre de cette molécule et à la faire tourner sur elle-même. Mais, si nous faisons

$$\Gamma = \Sigma T,$$

et si nous étendons cette somme Σ à toutes les molécules qui agissent sur m, cette force Γ, incomparablement plus grande que la force qui résulte de la totalité des composantes Φ, Ψ, Θ, est celle qui, en se combinant avec les actions intérieures de m, contribuera plus ou moins à déterminer la figure de cette molécule : elle tendra à comprimer ou à dilater m, en rapprochant ou en écartant les atomes de cette petite masse; et, pour cette raison, nous appellerons Γ la *force comprimante,* positive ou négative, de la molécule m.

La variation que cette force comprimante éprouvera en passant du premier au second état du corps, est la cause qui pourra donner lieu à une légère déformation de m; la molécule m' en subira une pareille; et, par suite, les composantes Φ, Ψ, Θ, de l'action de m' sur m, éprouveront de petites augmentations positives ou négatives, que je désignerai par φ, ψ, θ, et qu'il faudrait ajouter aux formules (8) du n° 12, pour tenir compte des changements de figure dont il s'agit.

Or, si nous désignons par T' et Γ' ce que deviennent les forces T et Γ en passant au second état du corps, nous aurons, comme dans ces formules,

$$\Gamma' = T + \frac{dT}{dr} r\sigma + \frac{dT}{dg}\delta g + \frac{dT}{dh}\delta h + \frac{dT}{dk}\delta k,$$

et, par conséquent,

$$\Gamma' = \Gamma + \Sigma \frac{d\mathrm{T}}{dr} r\sigma + \Sigma \frac{d\mathrm{T}}{dg} \delta g + \Sigma \frac{d\mathrm{T}}{dh} \delta h + \Sigma \frac{d\mathrm{T}}{dk} \delta k,$$

où l'on devra prendre cos α, cos ϵ, cos γ, pour les valeurs de g, h, k. Lorsque ces trois cosinus, ou bien un ou deux seulement, changeront de signes, la différence partielle $\frac{d\mathrm{T}}{dr}$ n'en changera pas, non plus que la fonction T. On verra, par le raisonnement du n° 14, que si cos α est le seul dont le signe change, $\frac{d\mathrm{T}}{dg}$ en changera, $\frac{d\mathrm{T}}{dh}$ et $\frac{d\mathrm{T}}{dk}$ n'en changeront pas : si c'est le signe de cos ϵ qui change, $\frac{d\mathrm{T}}{dh}$ en changera aussi, $\frac{d\mathrm{T}}{dg}$ et $\frac{d\mathrm{T}}{dk}$ n'en changeront pas; et, enfin, pour le changement de signe de cos γ, ce sera $\frac{d\mathrm{T}}{dk}$, qui éprouvera un pareil changement, tandis que les signes de $\frac{d\mathrm{T}}{dg}$ et $\frac{d\mathrm{T}}{dh}$ resteront les mêmes. On verra pareillement ce qui arrivera pour les changements simultanés de signes des trois cosinus ou de deux seulement d'entre eux.

Cela posé, en considérant les formules (5) du n° 7, et (9) du n° 13, qui donnent les valeurs de σ, δg, δh, δk, on reconnaîtra sans peine que dans les sommes Σ que renferme l'expression de Γ', les parties dépendantes de $\frac{du}{dx}$, $\frac{dv}{dy}$, $\frac{dw}{dz}$, subsisteront seules, et que celles qui dépendraient des six autres différences partielles $\frac{du}{dy}$, $\frac{du}{dz}$, $\frac{dv}{dx}$, $\frac{dv}{dz}$, $\frac{dw}{dx}$, $\frac{dw}{dz}$, ou de l'une des trois quantités p, p', q, se détruiront, comme étant composées de termes deux à deux égaux et de signes con-

traires. Or, il est évident que les augmentations Φ, Ψ, Θ, des actions moléculaires ayant pour cause la variation $\Gamma' - \Gamma$ de la force comprimante, ne renfermeront pas non plus, dans leurs expressions, ces neuf dernières inconnues, et dépendront seulement, comme cette variation, des trois premières $\frac{du}{dx}$, $\frac{dv}{dy}$, $\frac{dw}{dz}$. Nous pourrions même supposer ces trois composantes proportionnelles à ces différences $\Gamma' - \Gamma$, et prendre, en conséquence,

$$\Phi = (\Gamma' - \Gamma)\Phi', \quad \Psi = (\Gamma' - \Gamma)\Psi', \quad \Theta = (\Gamma' - \Gamma)\Theta',$$

en désignant par Φ', Ψ', Θ', des coefficients indépendants des douze inconnues; mais nous ferons, pour plus de généralité,

$$\Phi = \frac{du}{dx}\Phi' + \frac{dv}{dy}\Phi'' + \frac{dw}{dz}\Phi''',$$
$$\Psi = \frac{du}{dx}\Psi' + \frac{dv}{dy}\Psi'' + \frac{dw}{dz}\Psi''',$$
$$\Theta = \frac{du}{dx}\Theta' + \frac{dv}{dy}\Theta'' + \frac{dw}{dz}\Theta''',$$

expressions qui conduiront d'ailleurs à la même conclusion que les précédentes.

Les neuf coefficients φ', φ'', etc., sont des fonctions de la même nature que Φ, Ψ, Θ, dans lesquelles on pourra prendre $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$, pour les valeurs de g, h, k, puisque chacun de ces coefficients est multiplié par l'une des quantités $\frac{du}{dx}$, $\frac{dv}{dy}$, $\frac{dw}{dz}$, et qui jouiront, relativement aux changements de signes de ces cosinus, des mêmes propriétés que Φ, Ψ, Θ (n° 14). Par suite, les sommes Σ que ces propriétés rendront nulles, les valeurs des six quantités G'_1, G'_3, H'_1, H'_3, K'_1, K'_2, résultantes des formules (15), et, conséquemment, les équa-

tions (16), ne seront aucunement changées par l'introduction de φ, ψ, θ, dans les valeurs de U', V', W', du n° 12. Quant aux valeurs des trois autres quantités, G'_1, H'_2, K'_3, données par ces mêmes formules, si nous faisons, pour abréger,

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Phi'\cos\alpha = a', \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Phi''\cos\alpha = a'', \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Phi'''\cos\alpha = a''',$$

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Psi'\cos\beta = b', \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Psi''\cos\beta = b'', \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Psi'''\cos\beta = b''',$$

$$\frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Theta'\cos\gamma = c', \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Theta''\cos\gamma = c'', \quad \frac{1}{2\varepsilon^3}\Sigma\Theta'''\cos\gamma = c''',$$

elles seront augmentées respectivement des produits

$$\frac{\rho_1}{\rho}\left(a'\frac{du}{dx} + a''\frac{dv}{dy} + a'''\frac{dw}{dz}\right),$$

$$\frac{\rho_1}{\rho}\left(b'\frac{du}{dx} + b''\frac{dv}{dy} + b'''\frac{dw}{dz}\right),$$

$$\frac{\rho_1}{\rho}\left(c'\frac{du}{dx} + c''\frac{dv}{dy} + c'''\frac{dw}{dz}\right),$$

ou bien, en d'autres termes, les quantités A', A'', A''', que renferme l'expression de G'_1, s'accroîtront de a', a'', a'''; les quantités B, B', B'', contenues dans H'_2, de b', b'', b''', et les quantités C, C', C'', renfermées dans K'_3, de c', c'', c'''. Ainsi, par exemple, dans le cas du n° précédent, les neuf constantes A, A', A'', B, B', B'', C, C', C'', que contiennent les équations (17), devront être augmentées respectivement des constantes $\frac{1}{\rho}a'$, $\frac{1}{\rho}a''$, $\frac{1}{\rho}a'''$, $\frac{1}{\rho}b'$, $\frac{1}{\rho}b''$, $\frac{1}{\rho}b'''$, $\frac{1}{\rho}c'$, $\frac{1}{\rho}c''$, $\frac{1}{\rho}c'''$, tandis que les trois autres constantes A''', B''', C''', ne changeront pas. Ces équations conserveront donc la même forme; et quoique les valeurs numériques des neuf premiers coefficients aient réellement changé plus ou moins, les expressions de

u, v, w, que l'on en déduira, et les conséquences qui en résulteront, ne changeront pas non plus, puisque les valeurs de ces coefficients ne nous sont pas connues *à priori*, et qu'elles ne peuvent nous être données que par l'expérience.

Indépendamment de ce que la déformation des molécules doit toujours être fort peu de chose, nous avons donc pu en faire abstraction dans nos calculs, attendu qu'elle n'influe aucunement sur la forme des équations de leur équilibre, ni sur les lois de leurs petits mouvements.

(40) C'est aussi à raison de la force comprimante Γ que les actions moléculaires détachent incessamment et font jaillir de chaque molécule des quantités de calorique, d'où il résulte, dans l'intérieur des corps solides, des échanges continuels de chaleur entre les molécules voisines, qui maintiennent l'égalité de température, si elle existe déjà, et tendent à la produire, si elle n'existe pas. Lorsque cette force deviendra Γ', dans le passage des corps, d'un premier à un second état d'équilibre ou de mouvement, la différence $\Gamma' - \Gamma$ produira des variations dans les quantités de chaleur propre de leurs molécules, et, par suite, des variations correspondantes dans les composantes de l'action mutuelle de deux molécules quelconques m et m', ou des augmentations, positives ou négatives, des valeurs de U', V', W', du n° 12, que nous désignerons par φ_1, ψ_1, θ_1. On pourra regarder ces accroissements de l'action moléculaire comme étant proportionnels à la différence $\Gamma' - \Gamma$ qui leur donne naissance, ou, plus généralement, on pourra exprimer ces quantités φ_1, ψ_1, θ_1, par des formules semblables à celles que l'on a prises, pour exprimer les quantités φ, ψ, θ, dues à la même cause, et aux petites déformations possibles des molécules. Par conséquent, la considération des nou-

velles forces, $\varphi_1, \psi_1, \theta_1$, donnera lieu à la même conclusion que celle du numéro précédent, relativement à φ, ψ, θ; la forme des équations de l'équilibre et du mouvement ne sera nullement changée, non plus que les conséquences qui s'en déduiront; les constantes que renferment les équations (17) resteront en partie les mêmes, ou se changeront en d'autres constantes qui ne pourront toujours être déterminées que par des expériences convenables.

L'effet des variations de la chaleur des molécules d'un corps solide que nous indiquons succinctement, est de la même nature que celui qui a lieu dans les petites vibrations de l'air qui produisent le son, duquel il résulte une augmentation considérable dans le rapport de la force élastique à la densité de ce fluide, et d'où Laplace a déduit, comme on sait, l'explication de la différence observée jusque-là entre les vitesses du son calculées et observées. On ne doit pas le confondre avec l'effet des diminutions de température dans l'étendue d'un corps solide, qui n'a pas partout le même degré de chaleur : un pareil corps doit être assimilé à une matière hétérogène. Pour deux molécules m et m_1, séparées l'une de l'autre par une distance donnée r, les composantes de leur action mutuelle, et, par suite, les quantités A, A', renfermées dans les équations de l'équilibre et du mouvement, varieront d'un point du corps à un autre, à raison de la température. En la désignant par ζ au bout d'un temps quelconque t et en un point M aussi quelconque, chacune de ces dernières quantités devra être regardée comme une fonction donnée de ζ, indépendante de r, aussi bien que des coordonnées x, y, z, de M, s'il s'agit d'un corps hétérogène dans son état naturel. Les différences partielles de

A, par rapport à x, y, z, se trouveront donc augmentées de $\frac{d\mathrm{A}}{d\zeta}\frac{d\zeta}{dx}$, $\frac{d\mathrm{A}}{d\zeta}\frac{d\zeta}{dy}$, $\frac{d\mathrm{A}}{d\zeta}\frac{d\zeta}{dz}$, et de même à l'égard de A′, A″, etc. Les équations dont il s'agit renfermant ainsi une nouvelle inconnue ζ; il sera nécessaire, pour la solution complète de la question, d'y joindre une nouvelle équation, qui sera celle de la communication de la chaleur dans l'intérieur des corps que l'on considérera.

Dans le cas d'un corps non cristallisé, on aura pour cette équation :

$$c\zeta' = \frac{d.\mathrm{K}\frac{d\zeta}{dx}}{dx} + \frac{d.\mathrm{K}\frac{d\zeta}{dy}}{dy} + \frac{d.\mathrm{K}\frac{d\zeta}{dz}}{dz},$$

en désignant par $\zeta' dt$ l'accroissement de température que la molécule prend pendant l'instant dt, par c la chaleur spécifique à volume constant de la matière du corps au point M, par K la mesure de la conductibilité calorique en ce même point : il y aurait une modification à faire subir au premier nombre de cette équation (*) (**), si l'on voulait tenir compte de cette différence entre les chaleurs spécifiques à valeur constante et à pression constante, qui répondent au point M; laquelle différence est beaucoup moindre dans les corps solides que dans les différents gaz. Les molécules du corps étant en mouvement, soit par l'effet de l'inégalité de la température, soit par toute autre cause, la valeur complète de ζ' relative à m sera

$$\zeta' = \frac{d\zeta}{dt} + \frac{d\zeta}{dx}\frac{du}{dt} + \frac{d\zeta}{dy}\frac{dv}{dt} + \frac{d\zeta}{dz}\frac{dw}{dt};$$

(*) *Théorie mathématique de la chaleur*, n° 49.

(**) *Ibid.*, note 1re.

mais on pourra la réduire à son premier terme, excepté dans les cas où la vitesse des vibrations moléculaires sera très-rapide, quoique leur amplitude soit toujours très-petite (n° 10).

L'équation d'où dépend la valeur de ζ est fondée sur l'hypothèse que la communication de la chaleur dans l'intérieur d'un corps solide, se fait par un rayonnement qui ne s'étend qu'à distance insensible, et qui est le même dans toutes les directions autour de chaque molécule. Mais s'il s'agit d'un corps cristallisé, il y a lieu de croire, que ce rayonnement dépendra de la figure des molécules, et variera, en conséquence, d'une direction à une autre autour de chacune d'elles. Alors, par une extension facile du raisonnement qui m'a conduit à l'équation citée, on trouvera qu'elle devra être remplacée par celle-ci :

$$c\zeta' = \frac{d.\mathrm{K}\dfrac{d\zeta}{dx}}{dx} + \frac{d.\mathrm{K}'\dfrac{d\zeta}{dy}}{dy} + \frac{d.\mathrm{K}''\dfrac{d\zeta}{dz}}{dz}.$$

K, K', K'', étant trois quantités distinctes, qui dépendront, pour un même corps, des axes des coordonnées x, y, z, que l'on aura choisis arbitrairement, et qui seront fonctions, ainsi que c de ζ, x, y, z, dans un cristal hétérogène, et seulement de ζ dans un cristal homogène.

§ III. *Lois de la propagation du mouvement, dans un corps cristallisé.*

(41) Le corps que nous considérerons dans ce paragraphe sera supposé indéfiniment prolongé en tous sens, ce qui

nous dispensera d'avoir égard aux équations relatives à la surface. On supposera aussi qu'il est homogène et partout à la même température, que son premier état soit son état naturel, et que, dans son second état, ses points ne soient sollicités par aucune force motrice donnée, telle que la pesanteur ou autres. Les molécules appartenantes à une portion de ce corps, de peu d'étendue, ayant été écartées un tant soit peu des positions qu'elles occupaient dans le premier état, et ayant reçu en même temps par un moyen quelconque de très-petites vitesses, la question que nous avons principalement à résoudre, consistera à déterminer les lois de la propagation du mouvement qui aura lieu autour du lieu de cet ébranlement primitif, en vertu des actions moléculaires de la masse entière.

En conservant toutes les notations employées dans les équations (26) et (27) du paragraphe précédent, je désignerai par t le temps écoulé à un instant quelconque, depuis l'origine du mouvement. Les inconnues u, v, w, seront des fonctions de cette variable et des coordonnées x, y, z, du point M, auquel elles répondent. Les équations aux différentes partielles dont elles dépendent, se déduiront des équations (27) en y mettant $-\frac{d^2u}{dt^2}$, $-\frac{d^2v}{dt^2}$, $-\frac{d^2w}{dt^2}$, à la place de X', Y', Z', et seront, en conséquence,

$$\left.\begin{aligned}
\frac{d^2u}{dt^2} &= \mathrm{A}\frac{d^2u}{dt^2} + \mathrm{A}'\frac{d^2u}{dxdy} + \mathrm{A}''\frac{d^2w}{dxdz} + \mathrm{C}'''\frac{d^2u}{dy^2} + \mathrm{B}'''\frac{d^2u}{dz^2}, \\
\frac{d^2v}{dt^2} &= \mathrm{B}\frac{d^2v}{dt^2} + \mathrm{B}'\frac{d^2u}{dxdy} + \mathrm{B}''\frac{d^2w}{dydz} + \mathrm{C}'''\frac{d^2v}{dx^2} + \mathrm{A}'''\frac{d^2v}{dz^2}, \\
\frac{d^2w}{dt^2} &= \mathrm{C}\frac{d^2w}{dt^2} + \mathrm{C}'\frac{d^2u}{dxdz} + \mathrm{C}''\frac{d^2v}{dydz} + \mathrm{B}'''\frac{d^2w}{dx^2} + \mathrm{A}'''\frac{d^2w}{dy^2}.
\end{aligned}\right\} \quad (a)$$

Elles sont comprises, comme cas particulier, parmi celles

que M. Blanchet, professeur de physique au collége de Henri IV, a intégré sous forme finie, dans un mémoire lu à l'Académie, il y a environ un an, où il est parvenu à exprimer les valeurs de u, v, w, par des intégrales définies doubles et triples.

Pour que ces valeurs soient complétement déterminées, il faudra de plus, et il suffira qu'elles soient données à l'origine du mouvement ainsi que les valeurs correspondantes de $\frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{dw}{dt}$, ou des composantes de la vitesse au point quelconque N. Pour $t=0$, je supposerai donc qu'on ait en particulier

$$\left.\begin{aligned} u &= f(x,y,z), \quad v = f'(x,y,z), \quad w = f''(x,y,z); \\ \frac{du}{dt} &= \mathrm{F}(x,y,z), \quad \frac{dv}{dt} = \mathrm{F}'(x,y,z), \quad \frac{dw}{dt} = \mathrm{F}''(x,y,z), \end{aligned}\right\} \quad (b)$$

f, f', f'', F, F', F'' désignant des fonctions continues ou discontinues, données pour toutes les valeurs positives ou négatives de x, y, z, depuis $-\infty$ jusqu'à $+\infty$.

Les vibrations moléculaires, exprimées par les variables u, v, w, seront accompagnées de petites oscillations des molécules sur elles-mêmes, qui se déduiront des trois autres inconnues p, p', q, déterminées par les équations (26) du n° 36, qui pourront s'écrire ainsi :

$$\left.\begin{aligned} p' &= \left(\mathrm{A}_1 + \tfrac{1}{2}\right)\frac{dw}{dy} + \left(\mathrm{A}_1 - \tfrac{1}{2}\right)\frac{dv}{dz}, \\ p &= \left(\mathrm{B}_1 + \tfrac{1}{2}\right)\frac{dw}{dx} + \left(\mathrm{B}_1 - \tfrac{1}{2}\right)\frac{du}{dz}, \\ q &= \left(\mathrm{C}_1 + \tfrac{1}{2}\right)\frac{du}{dy} + \left(\mathrm{C}_1 - \tfrac{1}{2}\right)\frac{du}{dx}, \end{aligned}\right\} \quad (c)$$

et qui feront connaître immédiatement les valeurs de ces

inconnues, dès que celles de u, v, w auront été déterminées, de telle sorte que ces trois quantités p, p', q seront toujours du même ordre de petitesse que les fractions $\frac{du}{dy}$, $\frac{dv}{dx}$, etc. On aura ensuite (n° 5)

$$\theta = \sqrt{p^2+p'^2}, \quad \text{tang}\,\psi = \frac{p}{p'}, \quad \varphi = \psi + q; \qquad (d)$$

θ étant l'angle compris au bout du temps t, entre l'un des trois axes mobiles de la molécule dont le centre est M, et la parallèle à l'axe des z menée par ce point ; ψ désignant au même instant l'angle que fait l'intersection du plan des deux autres axes mobiles et du plan parallèle à celui des x et y, passant par ce point M, avec la parallèle à l'axe des x, menée par ce même point ; enfin, φ représentant aussi au bout du temps t, l'angle compris entre cette intersection et l'un des deux axes mobiles. L'angle ψ pourra croître indéfiniment avec t, pourvu que φ croisse également, et que la différence $\varphi - \psi$, positive ou négative, demeure toujours très-petite : au degré d'approximation supposé, c'est-à-dire, en négligeant le carré de t, cette différence est égale à l'angle compris entre la parallèle à l'axe des x et l'axe mobile qui fait l'angle φ avec l'intersection des deux plans correspondants à l'angle ψ.

Les vibrations et les oscillations simultanées des molécules seront aussi accompagnées de petites dilatations positives ou négatives, déterminées par les formules du n° 7, savoir :

$$\left.\begin{aligned} s &= \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}, \\ \sigma &= \frac{du}{dx}\cos^2\lambda + \frac{dv}{dy}\cos^2\mu + \frac{dw}{dz}\cos\gamma, \end{aligned}\right\} \qquad (c)$$

$$+\left(\frac{du}{dy}+\frac{dv}{dx}\right)\cos\lambda\cos\mu+\left(\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx}\right)\cos\lambda\cos\nu$$
$$+\left(\frac{dv}{dz}+\frac{dw}{dy}\right)\cos\mu\cos\nu.$$

s étant au bout du temps t la dilatation cubique qui a lieu au point M, et σ la dilatation linéaire au même point suivant la direction qui fait les angles donnés λ, μ, ν, avec des parallèles aux axes des x, y, z, menées par ce point.

Telles sont les diverses équations que nous aurons à considérer dans ce paragraphe. Les douze constantes A, A′, etc., contenues dans les équations (a), seront généralement distinctes les unes des autres, et censées données par l'expérience pour chaque cristal en particulier, pour la température, et pour la direction des axes rectangulaires des x, y, z, que l'on aura choisis arbitrairement. Il en sera de même à l'égard des trois autres constantes A_1, B_1, C_1, que renferment les équations (c). Si l'on suppose que les molécules du cristal soient de forme sphérique, il faudra faire abstraction de ces trois dernières équations, et prendre dans les précédentes

$$A'=2C''',\ A''=2B''',\ B'=2C''',\ B''=2A''',\ C'=2B''',\ C''=2A'''.$$

Dans le cas d'un corps non cristallisé, il faudra faire, comme on l'a aussi vu dans le n° 37,

$$A = B = C = a^2,$$
$$A' = A'' = B' = B'' = C' = C'' = \frac{2a^3}{3},$$
$$A''' = B''' = C''' = \frac{a^2}{2}.$$

a^2 étant une constante positive, dont on déterminera la valeur d'après la condensation que la matière du corps éprouve à sa température sous une pression donnée.

Les seules fonctions arbitraires que comporte le problème sont les déplacements et les vitesses des molécules à l'origine du mouvement. Les dilatations ou condensations primitives que les corps éprouvent, ne sont pas des fonctions indépendantes de celles-là; ce qui tient à ce que l'on suppose implicitement que les quantités très-petites, dont les molécules sont d'abord écartées de leurs positions dans l'état naturel du corps, résultent de petits mouvements réguliers qu'on leur a imprimés d'une manière quelconque; en sorte que ces dilatations, positives ou négatives, sont liées (n° 7), pour $t=0$, comme à toute autre époque, aux expressions de u, v, w, par les formules (e). Les changements de direction des axes mobiles qui ont lieu simultanément avec les déplacements primitifs des molécules, ne sont pas non plus des données arbitraires et indépendantes de ces divers déplacements. En effet, sans restreindre en rien la généralité de la question, nous pouvons prendre, comme nous le faisons réellement, pour les axes mobiles de chaque molécule, des droites tracées fixement dans son intérieur à l'époque correspondante à $t=0$, et dont les directions, par rapport aux axes des coordonnées x, y, z, sont déterminées par les angles φ, ψ, θ, déduits des expressions de u, v, w, relatives à la même époque, au moyen des équations (c) et (d); de manière que ces équations aient lieu, ainsi que les formules (e), pour $t=0$ et pour toute autre valeur de t, c'est-à-dire, à l'origine du mouvement et pendant toute sa durée.

(42) Nous représentons par ρ une fonction linéaire des coordonnées x, y, z, qui ne dépende pas de la variable t, savoir :

$$\rho = \alpha(x-x') + \beta(y-y') + \gamma(z-z'),$$

On pourra satisfaire aux équations (a), au moyen de ces valeurs particulières des trois inconnues :

$$\left.\begin{aligned} u &= \left(\mathrm{D}\cos\omega t + \mathrm{D}'\frac{\sin\omega t}{\omega}\right)\cos\rho, \\ v &= \left(\mathrm{E}\cos\omega t + \mathrm{E}'\frac{\sin\omega t}{\omega}\right)\cos\rho, \\ w &= \left(\mathrm{F}\cos\omega t + \mathrm{F}'\frac{\sin\omega t}{\omega}\right)\cos\rho, \end{aligned}\right\} (f)$$

ω, D, D′, E, E′, F, F′, α, β, γ, x', y', z', étant des constantes dont les six dernières sont arbitraires et indépendantes entre elles, et les sept autres seront liées entre elles par les six équations suivantes. On obtiendra ces six équations en substituant les formules (f) à la place de u, v, w, dans les équations (a); celles-ci, après cette substitution, renfermeront des termes dépendants de l'un des produits $\cos\omega t \,.\, \cos\rho$ et $\sin\omega t \,.\, \sin\rho$; et en égalant dans les deux membres de chacune des six équations les coefficients de ces mêmes produits, il en résultera

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{D}\,(\omega^2 - \mathrm{G}) &= \mathrm{E}\,\mathrm{A}'\alpha\beta + \mathrm{F}\,\mathrm{A}''\alpha\gamma, \\ \mathrm{E}\,(\omega^2 - \mathrm{H}) &= \mathrm{D}\,\mathrm{B}'\alpha\beta + \mathrm{F}\,\mathrm{B}''\beta\gamma, \\ \mathrm{F}\,(\omega^2 - \mathrm{K}) &= \mathrm{D}\,\mathrm{C}'\alpha\gamma + \mathrm{E}\,\mathrm{C}''\beta\gamma, \\ \mathrm{D}'\,(\omega^2 - \mathrm{G}) &= \mathrm{E}'\mathrm{A}'\alpha\beta + \mathrm{F}'\mathrm{A}''\alpha\gamma, \\ \mathrm{E}'\,(\omega^2 - \mathrm{H}) &= \mathrm{D}'\mathrm{B}'\alpha\beta + \mathrm{F}'\mathrm{B}''\beta\gamma, \\ \mathrm{F}'\,(\omega^2 - \mathrm{K}) &= \mathrm{D}'\mathrm{C}'\alpha\gamma + \mathrm{E}'\mathrm{C}''\beta\gamma. \end{aligned}\right\} (g)$$

En faisant pour abréger

$$\begin{aligned} \mathrm{A}\alpha^2 + \mathrm{C}'''\beta^2 + \mathrm{B}'''\gamma^2 &= \mathrm{G}, \\ \mathrm{B}\beta^2 + \mathrm{C}'''\alpha^2 + \mathrm{A}'''\gamma^2 &= \mathrm{H}, \\ \mathrm{C}\gamma^2 + \mathrm{B}'''\alpha^2 + \mathrm{A}'''\beta^2 &= \mathrm{K}. \end{aligned}$$

Si l'on élimine, soit deux des trois constantes D, E, F,

entre les trois premières équations (g), soit deux des trois constantes D′, E′, F′, entre les trois dernières, la troisième constante disparaîtra, et l'on trouvera dans les deux cas la même équation

$$\left.\begin{aligned}&(\omega^2-G)(\omega^2-H)(\omega^2-K)-A'B'\alpha^2\beta^2(\omega^2-K)\\&-A''C'\alpha^2\gamma^2(\omega^2-H)-B''C''\beta^2\gamma^2(\omega^2-G)\\&=(A'B''C'+A''B'C'')\alpha^2\beta^2\gamma^2,\end{aligned}\right\}\ (h)$$

qui servira à déterminer la valeur de la constante ω.

En outre, les éliminations successives de E, et ensuite D; de D, et ensuite F; de F, et ensuite E, entre les trois premières équations (g) donneront

$$\begin{aligned}&[(\omega^2-G)(\omega^2-H)-A'B'\alpha^2\beta^2]D=[A''(\omega^2-H)+A'B''\beta^2]\alpha\gamma F,\\&[(\omega^2-G)(\omega^2-H)-A'B'\alpha^2\beta^2]E=[B''(\omega^2-G)+A''B'\alpha^2]\beta\gamma F,\\&[(\omega^2-K)(\omega^2-G)-A''C'\alpha^2\gamma^2]F=[C''(\omega^2-G)+A'C'\alpha^2]\beta\gamma E,\\&[(\omega^2-K)(\omega^2-G)-A''C'\alpha^2\gamma^2]D=[A'(\omega^2-K)+A''C''\gamma^2]\alpha\beta E,\\&[(\omega^2-H)(\omega^2-K)-B''C''\beta^2\gamma^2]E=[B'(\omega^2-K)+C'B''\gamma^2]\alpha\beta D,\\&[(\omega^2-H)(\omega^2-K)-C''B''\beta^2\gamma^2]F=[C'(\omega^2-H)+B'C''\beta^2]\alpha\gamma D.\end{aligned}$$

De ces six résultats, en ayant égard à l'équation (h), et en faisant pour abréger

$$\begin{aligned}&A''C'\alpha^2(\omega^2-H)+B''C''\beta^2(\omega^2-G)+(A'B''C'+A''B'C'')\alpha^2\beta^2=K',\\&A''\alpha(\omega^2-H)+B''\beta(\omega^2-G)+A'B''\alpha\beta^2+A''B'\alpha^2\beta=K'',\\&A'B'\alpha^2(\omega^2-K)+B''C''\gamma^2(\omega^2-G)+(A'B''C'+A''B'C'')\alpha^2\gamma^2=H',\\&A'\alpha(\omega^2-K)+C''\gamma(\omega^2-G)+A''C''\alpha\gamma^2+A'C'\alpha^2\gamma=H'',\\&A'B'\beta^2(\omega^2-K)+A''C'\gamma^2(\omega^2-H)+(A'B''C'+A''B'C'')\beta^2\gamma^2=G',\\&B'\beta(\omega^2-K)+C'\gamma(\omega^2-H)+(C'B''\beta\gamma^2+B'C''\beta^2\gamma=G'',\end{aligned}$$

on déduira ces trois combinaisons

$$\begin{aligned}&(D+E)K'\gamma=F(\omega^2-K)K'',\\&(F+D)H'\beta=E(\omega^2-H)H'',\\&(E+F)G'\alpha=D(\omega^2-G)G'',\end{aligned}$$

ou, ce qui est la même chose,

$$\begin{aligned}(D+E+F)K'\gamma &= F[(\omega^2-K)K''+K'\gamma],\\ (D+E+F)H'\mathcal{E} &= E[(\omega^2-H)H''+H'\mathcal{E}],\\ (D+E+F)G'\alpha &= D[(\omega^2-G)G''+G'\alpha],\end{aligned}$$

l'une des trois constantes D, E, F, demeurant arbitraire. Il en sera de même à l'égard de leurs sommes $D+E+F$, que nous désignerons par P. En faisant encore pour abréger

$$\begin{aligned}\frac{\alpha G'}{(\omega^2-G)G''+\alpha G'} &= \Omega,\\ \frac{\mathcal{E}H'}{(\omega^2-H)H''+\mathcal{E}H'} &= \Omega',\\ \frac{\gamma K'}{(\omega^2-K)K''+\gamma K'} &= \Omega'',\end{aligned}$$

nous aurons donc

$$D=P\Omega,\quad E=P\Omega',\quad F=P\Omega''.$$

Après avoir opéré sur ces trois dernières équations (g) comme nous venons de le faire sur les trois premières, si nous désignons aussi par P' la somme $D'+E'+F'$, on trouvera de même

$$D'=P'\Omega,\quad E'=P'\Omega',\quad F'=P'\Omega''.$$

Par conséquent les formules (f) deviendront

$$\left.\begin{aligned}u &= \Omega\left(P\cos\omega t+P'\frac{\sin\omega t}{\omega}\right)\cos\rho,\\ v &= \Omega'\left(P\cos\omega t+P'\frac{\sin\omega t}{\omega}\right)\cos\rho,\\ w &= \Omega''\left(P\cos\omega t+P'\frac{\sin\omega t}{\omega}\right)\cos\rho.\end{aligned}\right\}\ (k)$$

Elles ne contiendront plus que huit constantes arbitraires et indépendantes, savoir : P, P', $\alpha, \mathcal{E}, \gamma$, x, y, z. Toutefois, la na-

ture de la question exige que l'on ne prenne pour α, β, γ, que des quantités réelles; sans quoi les expressions de u, v, w, renfermeraient des exponentielles réelles, dont les exposants seraient proportionnels à x, y, z, et les déplacements des molécules ne seraient plus très-petits, comme on le suppose, pour toutes les valeurs positives ou négatives des coordonnées, c'est-à-dire, dans toute l'étendue du milieu indéfiniment prolongé, où le mouvement se propage.

(43) L'équation (h), et la nature de ses racines sont d'une grande importance dans cette théorie. En prenant à volonté les constantes A, B, etc., qui y sont contenues, il est certain qu'on pourra rendre imaginaires une partie ou la totalité de ses six racines; mais cela ne pourra jamais arriver si ces valeurs ont été déduites d'observations faites sur un cristal; car, dans ce cas, les valeurs de ω, que renferment les formules (k), sont nécessairement des quantités réelles. En effet, l'état naturel d'un corps solide, cristallisé ou non, est un état d'équilibre stable; par conséquent, si l'on écarte un tant soit peu les molécules de leurs positions, qu'on leur imprime en même temps de très-petites vitesses, et qu'on les abandonne ensuite à elles-mêmes, elles ne pourront éprouver que de très-petits déplacements pendant toute la durée du temps t; ce qui n'aurait pas lieu si ω était une quantité imaginaire, puisqu'alors $\cos \omega t$ et $\sin \omega t$ se changeraient en exponentielles réelles, dont les exposants seraient proportionnels au temps, et les valeurs de u, v, w, données par les formules (k), croîtraient indéfiniment, quelque petites qu'elles soient pour $t = 0$: il suffira de prendre pour P et P′ des constantes assez petites, et qui ne fassent pas disparaître les exponentielles dont les exposants sont positifs, ce qui sera

toujours possible d'une infinité de manières différentes. On peut même ajouter que les exponentielles qui auraient des exposants négatifs et qui finiraient conséquemment par l'équation même, sont également inadmissibles; car on sait que quand on écarte un système de points matériels d'un état d'équilibre stable, ses vibrations ne s'éteignent à la longue par des séries d'exponentielles, que par des effets de frottements et d'autres résistances, qui n'ont pas lieu dans la question dont nous nous occupons, où les molécules du corps ne sont soumises qu'à leurs actions mutuelles d'attraction et de répulsion.

De ce que les six racines de l'équation (*h*) seront toujours réelles, concluons, par exemple, que les constantes A, B, C, A‴, B‴, C‴, données par l'expérience, seront positives. En effet, si l'on prend zéro pour deux des trois constantes arbitraires $\alpha, \mathcal{C}, \gamma$, cette équation se réduira à

$$(\omega^2 - G)(\omega^2 - H)(\omega^2 - K) = 0;$$

il faudra donc que G, H, K, soient des quantités positives. Or, d'après ce que G, H, K, représentent, on aura l'un des trois systèmes de valeurs

$$\begin{array}{llll} \mathcal{C} = 0, & \gamma = 0, & G = A\,\alpha^2, & H = C'''\alpha^2, \quad K = B'''\alpha^2, \\ \alpha = 0, & \gamma = 0, & G = C'''\mathcal{C}^2, & H = B\,\mathcal{C}^2, \quad K = A'''\mathcal{C}^2, \\ \mathcal{C} = 0, & \alpha = 0, & G = B'''\gamma^2, & H = A'''\gamma^2, \quad K = C\,\gamma^2; \end{array}$$

et dans chaque cas, celle des constantes $\alpha^2, \mathcal{C}^2, \gamma^2$, qui n'est pas zéro, ne pouvant être qu'une quantité positive, il s'ensuit que chacune des six constantes dont il s'agit le sont aussi. On en conclut que, dans le cas des molécules sphériques, les douze constantes A, B, etc., qui se réduisent à six, sont toutes des quantités positives.

(44) Les six racines de l'équation (h) sont deux à deux égales et de signes contraires. Mais les expressions de $\Omega, \Omega', \Omega''$, et les quantités $P\cos\omega t + P'\frac{\sin\omega t}{\omega}$, ne changeant pas de signe avec ω, on pourra donc employer seulement dans les formules (k), ou les racines positives, ou les racines négatives; les premières pour fixer les idées, et que nous désignerons par l, m, n. D'ailleurs, à cause de la forme linéaire des équations (a), on y satisfera encore en prenant successivement ces trois racines à la place de ω, et faisant pour chacune des inconnues u, v, w, la somme des formules (k) correspondantes à ces mêmes racines. Cela étant, je désignerai ce que deviennent les expressions de $\Omega, \Omega', \Omega''$, par L, L', L'', pour $\omega = l$; par M, M', M'', pour $\omega = m$; par N, N', N'', pour $\omega = n$; je considérerai les coefficients de $\cos\omega t$ et $\frac{\sin\omega t}{\omega}$ compris entre parenthèses, dans les formules (k), comme des fonctions arbitraires de $\alpha, \varepsilon, \gamma, x', y', z'$, et, pour plus de généralité, je ferai changer ces fonctions en même temps que les valeurs de ω. En conservant P et P' pour $\omega = l$, prenant Q et Q' pour $\omega = m$, R et R' pour $\omega = n$, les formules (k) se trouveront remplacées par celles-ci :

$$u = \left[L\left(P\cos lt + P'\frac{\sin lt}{l}\right) + M\left(Q\cos mt + Q'\frac{\sin mt}{m}\right) + N\left(R\cos nt + R'\frac{\sin nt}{n}\right)\right]\cos\rho,$$

$$v = \left[L'\left(P\cos lt + P'\frac{\sin lt}{l}\right) + M'\left(Q\cos mt + Q'\frac{\sin mt}{m}\right) + N'\left(R\cos nt + R'\frac{\sin nt}{n}\right)\right]\cos\rho,$$

$$w = \left[L'' \left(P \cos lt + P' \frac{\sin lt}{l} \right) + M'' \left(Q \cos mt + Q' \frac{\sin mt}{m} \right) + N'' \left(R \cos nt + R' \frac{\sin nt}{n} \right) \right] \cos \rho,$$

qui seront plus générales.

En prenant les sommes de ces formules, qui répondent à des nombres quelconques de valeurs différentes des constantes arbitraires qu'elles renferment, et considérant toujours la forme linéaire des équations (a), on obtiendra encore des valeurs de u, v, w, qui satisferont à ces équations, de telle sorte qu'on pourra former de cette manière leurs intégrales complètes, que nous écrirons ainsi :

$$\left.\begin{aligned}
u &= \Sigma (L\,P \cos lt + M\,Q \cos mt + N\,R \cos nt) \cos \rho \\
&\quad + \Sigma \left[L\,P' \frac{\sin lt}{l} + M\,Q' \frac{\sin mt}{m} + N\,R' \frac{\sin nt}{n} \right) \cos \rho, \\
v &= \Sigma (L'P \cos lt + M'Q \cos mt + N'R \cos nt) \cos \rho \\
&\quad + \Sigma \left[L'P' \frac{\sin lt}{l} + M'Q' \frac{\sin mt}{m} + N'R' \frac{\sin nt}{n} \right) \cos \rho, \\
w &= \Sigma (L''P \cos lt + M''Q \cos mt + N''R \cos nt) \cos \rho \\
&\quad + \Sigma \left[L''P' \frac{\sin lt}{l} + M''Q' \frac{\sin mt}{m} + N''R' \frac{\sin nt}{n} \right) \cos \rho ;
\end{aligned}\right\} \quad (i)$$

les caractéristiques Σ indiquant des sommes qui s'étendent à toutes les valeurs possibles, réelles ou imaginaires, des douze quantités $P, P', Q, Q', R, R', \alpha, \varepsilon, \gamma, x', y', z'$. Cela résulte, en effet, de remarques que j'ai faites sur la forme des intégrales, en séries des équations linéaires aux différences partielles, il y a déjà longtemps, et que j'ai reproduites en détail dans le chapitre VIII de la *Théorie mathématique de la chaleur*. D'après ces remarques, sans que les intégrales cessent d'être complètes, les nombres des fonctions arbitraires y peuvent diminuer en passant d'une forme de série à une autre, de manière que toutes ces fonctions peuvent même disparaître

à la fois, et être remplacées par une infinité de constantes arbitraires; auquel cas, les intégrales complètes se trouvent exprimées, comme ici, par des séries d'une infinité d'intégrales particulières.

(45) Les formules (*i*) étant donc les expressions les plus générales de u, v, w, en fonctions de x, y, z, qui puissent satisfaire aux équations (*a*), il ne restera plus, pour achever de déterminer ces trois inconnues, qu'à les astreindre, ainsi que $\frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{dw}{dt}$, aux équations (*b*) relatives à $t = 0$. Or, sans changer la nature des formules (*i*), on y peut faire croître, en tout ou en partie, les quantités arbitraires qu'elles renferment, et changer les sommes Σ en intégrales qui s'y rapportent. Cela étant, je donne à $\alpha, \beta, \gamma, x', y', z'$, des valeurs réelles, que je fais croître depuis $-\infty$ jusqu'à $+\infty$; je considère les six autres quantités P, Q, R, P', Q', R', comme des fonctions arbitraires des six premières, et, après avoir multiplié par $d\alpha, d\beta, d\gamma, dx', dy', dz'$, sous ses signes Σ, je remplace ces sommes par des intégrales sextuples. De cette manière, les formules (*i*) deviennent d'abord

$$u = \iiiiiint \left(L P \cos lt + M Q \cos mt + N R \cos nt\right) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz'$$
$$+ \iiiiiint \left(L P' \frac{\sin lt}{l} + M Q' \frac{\sin mt}{m} + N R' \frac{\sin nt}{n}\right) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz',$$

$$v = \iiiiiint \left(L' P \cos lt + M' Q \cos mt + N' R \cos nt\right) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz'$$
$$+ \iiiiiint \left(L' P' \frac{\sin lt}{l} M' Q' \frac{\sin mt}{m} + N' R' \frac{\sin nt}{n}\right) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz',$$

$$w = \iiiiiint \left(L'' P \cos lt + M'' Q \cos mt + N'' R \cos nt\right) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz'$$
$$+ \iiiiiint \left(L'' P' \frac{\sin lt}{l} + M'' Q' \frac{\sin mt}{m} + N' R' \frac{\sin nt}{n}\right) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz'.$$

En en déduisant les valeurs de $u, v, w, \frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{dw}{dt}$, qui répondent à $t = 0$, et les substituant dans les équations (b), on aura donc

$$f(x,y,z) = \iiiiiint (\mathrm{L\,P} + \mathrm{M\,Q} + \mathrm{N\,R}) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz',$$

$$f'(x,y,z) = \iiiiiint (\mathrm{L'P} + \mathrm{M'Q} + \mathrm{N'R}) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz',$$

$$f''(x,y,z) = \iiiiiint (\mathrm{L''P} + \mathrm{M''Q} + \mathrm{N''R}) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz',$$

$$\mathrm{F}(x,y,z) = \iiiiiint (\mathrm{L\,P'} + \mathrm{M\,Q'} + \mathrm{N\,R'}) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz',$$

$$\mathrm{F}'(x,y,z) = \iiiiiint (\mathrm{L'P'} + \mathrm{M'Q'} + \mathrm{N'R'}) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz',$$

$$\mathrm{F}''(x,y,z) = \iiiiiint (\mathrm{L''P'} + \mathrm{M''Q'} + \mathrm{N''R'}) \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz',$$

pour les six conditions qui resteront à remplir, au moyen des six quantités P, Q, R, P', Q', R'.

Or, en désignant par $\Phi(x, y, z)$ une fonction quelconque des variables x, y, z, et par π le rapport de la circonférence au diamètre, on a, comme on sait,

$$\Phi(x,y,z) = \frac{1}{\pi^3} \iiiiiint \Phi(x',y',z') \cos\alpha(x-x') \cos\beta(y-y') \cos\gamma(z-z') \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz'$$

les intégrales relatives à x', y', z', étant prises depuis $-\infty$ jusqu'à $+\infty$, et celles qui se rapportent à α, β, γ, seulement depuis zéro jusqu'à l'infini. Si l'on étend également celles-ci depuis $-\infty$ jusqu'à $+\infty$, et si l'on a égard à ce que ρ représente, il est facile de voir que cette formule pourra s'écrire ainsi

$$\Phi(x,y,z) = \frac{1}{8\pi^3} \iiiiiint \Phi(x',y',z') \cos\rho \, d\alpha d\beta d\gamma \, dx' dy' dz'.$$

En mettant successivement f, f', f'', F, F', F'', à la place de Φ, substituant dans les équations précédentes les valeurs qui en résulteront pour ces six fonctions de x, y, z; et observant que ces équations doivent avoir lieu pour toutes les valeurs de ces trois variables, ou de la seule quantité ρ, qui les contienne, on en conclura

$$\begin{aligned}
8\varpi^3(\mathrm{L\,P} + \mathrm{M\,Q} + \mathrm{N\,R}) &= f(x',y',z'),\\
8\varpi^3(\mathrm{L\,P'} + \mathrm{M\,Q'} + \mathrm{N\,R'}) &= \mathrm{F}(x',y',z'),\\
8\varpi^3(\mathrm{L'P} + \mathrm{M'Q} + \mathrm{N'R}) &= f'(x',y',z'),\\
8\varpi^3(\mathrm{L'P'} + \mathrm{M'Q'} + \mathrm{N'R'}) &= \mathrm{F}'(x',y',z'),\\
8\varpi^3(\mathrm{L''P} + \mathrm{M''Q} + \mathrm{N''R}) &= f''(x',y',z'),\\
8\varpi^3(\mathrm{L''P'} + \mathrm{M''Q'} + \mathrm{N''R'}) &= \mathrm{F}''(x',y',z'),
\end{aligned}$$

d'où l'on tire, pour les règles de l'élimination,

$$\begin{aligned}
\mathrm{P} &= \mathrm{U}f(x'y',z') + \mathrm{U}'f'(x',y',z) + \mathrm{U}''f''(x',y',z'),\\
\mathrm{P'} &= \mathrm{U}\,\mathrm{F}(x'y',z') + \mathrm{U}'\,\mathrm{F}'(x',y',z) + \mathrm{U}''\,\mathrm{F}''(x',y',z'),\\
\mathrm{Q} &= \mathrm{V}f(x'y',z') + \mathrm{V}'f'(x',y',z) + \mathrm{V}''f''(x',y',z'),\\
\mathrm{Q'} &= \mathrm{V}\,\mathrm{F}(x'y',z') + \mathrm{V}'\,\mathrm{F}'(x',y',z) + \mathrm{V}''\,\mathrm{F}''(x',y',z'),\\
\mathrm{R} &= \mathrm{W}f(x'y',z') + \mathrm{W}'f'(x',y',z) + \mathrm{W}''f''(x',y',z'),\\
\mathrm{R'} &= \mathrm{W}\mathrm{F}(x'y',z') + \mathrm{W}'\mathrm{F}'(x',y',z) + \mathrm{W}''\mathrm{F}''(x',y',z'),
\end{aligned}$$

en faisant, pour abréger,

$$\mathrm{U} = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{M''N'} - \mathrm{M'N''}),\ \mathrm{U}' = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{MN''} - \mathrm{M''N}),\ \mathrm{U}'' = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{M'N} - \mathrm{MN'}),$$

$$\mathrm{V} = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{L'N''} - \mathrm{L''N'}),\ \mathrm{V}' = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{L''N} - \mathrm{LN''}),\ \mathrm{V}'' = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{LN'} - \mathrm{L'N}),$$

$$\mathrm{W} = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{L''M'} - \mathrm{L'M''}),\ \mathrm{W}' = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{LM''} - \mathrm{L''M}),\ \mathrm{W}'' = \tfrac{1}{\Delta}(\mathrm{L'M} - \mathrm{LM'}),$$

et dans ces expressions

$$\Delta = 8\pi^3(\mathrm{LM''N'} + \mathrm{L'MN'} + \mathrm{L''M'N} - \mathrm{LM'N''} - \mathrm{L'M''N} - \mathrm{L''MN'}).$$

Je substitue ces valeurs de P, P', etc., dans celles de u, v, w, il vient finalement

$$u = \iiiiiint \Big[f(x',y',z')\,\mathrm{T} + \mathrm{F}(x',y',z') \int \mathrm{T}\,dt + f'(x',y',z')\,\mathrm{T}' + \mathrm{F}'(x',y',z') \int \mathrm{T}'dt + f''(x',y',z')\,\mathrm{T}'' + \mathrm{F}''(x',y',z') \int \mathrm{T}''\,dt \Big] \cos\rho\, d\alpha d\xi d\gamma\, dx' dy' dz',$$

$$v = \iiiiiint \Big[f(x',y',z')\,\mathrm{T}_1 + \mathrm{F}(x',y',z') \int \mathrm{T}_1\,dt + f'(x',y',z')\,\mathrm{T}'_1 + \mathrm{F}'(x',y',z') \int \mathrm{T}'_1\,dt + f''(x',y',z')\,\mathrm{T}''_1 + \mathrm{F}''(x',y',z') \int \mathrm{T}''_1\,dt \Big] \cos\rho_1\, d\alpha d\xi d\gamma\, dx' dy' dz',$$

$$w = \iiiiiint \Big[f(x',y',z')\,\mathrm{T}_2 + \mathrm{F}(x',y',z') \int \mathrm{T}_2\,dt + f'(x',y',z')\,\mathrm{T}'_2 + \mathrm{F}'(x',y',z') \int \mathrm{T}'_2\,dt + f''(x',y',z')\,\mathrm{T}''_2 + \mathrm{F}''(x',y',z') \int \mathrm{T}''_2\,dt \Big] \cos\rho_2\, d\alpha d\xi d\gamma\, dx' dy' dz',$$

où l'on a encore fait pour abréger,

$$\begin{aligned}
\mathrm{T} &= \mathrm{L}\,\mathrm{U}\cos lt + \mathrm{M}\,\mathrm{V}\cos mt + \mathrm{N}\,\mathrm{W}\cos nt,\\
\mathrm{T}' &= \mathrm{L}\,\mathrm{U}'\cos lt + \mathrm{M}\,\mathrm{V}'\cos mt + \mathrm{N}\,\mathrm{W}'\cos nt,\\
\mathrm{T}'' &= \mathrm{L}\,\mathrm{U}''\cos lt + \mathrm{M}\,\mathrm{V}''\cos mt + \mathrm{N}\,\mathrm{W}''\cos nt,\\
\mathrm{T}_1 &= \mathrm{L}'\mathrm{U}\cos lt + \mathrm{M}'\mathrm{V}\cos mt + \mathrm{N}'\mathrm{W}\cos nt,\\
\mathrm{T}'_1 &= \mathrm{L}'\mathrm{U}'\cos lt + \mathrm{M}'\mathrm{V}'\cos mt + \mathrm{N}'\mathrm{W}'\cos nt,\\
\mathrm{T}''_1 &= \mathrm{L}'\mathrm{U}''\cos lt + \mathrm{M}'\mathrm{V}''\cos mt + \mathrm{N}'\mathrm{W}''\cos nt,\\
\mathrm{T}_2 &= \mathrm{L}''\mathrm{U}\cos lt + \mathrm{M}''\mathrm{V}\cos mt + \mathrm{N}''\mathrm{W}\cos nt,\\
\mathrm{T}'_2 &= \mathrm{L}''\mathrm{U}'\cos lt + \mathrm{M}''\mathrm{V}'\cos mt + \mathrm{N}''\mathrm{W}'\cos nt,\\
\mathrm{T}''_2 &= \mathrm{L}''\mathrm{U}''\cos lt + \mathrm{M}''\mathrm{V}''\cos mt + \mathrm{N}''\mathrm{W}''\cos nt,
\end{aligned}$$

Ces formules (j) ne contenant plus rien d'indéterminé, elles font connaître les inconnues u, v, w, ou fonctions de x, y, z, et renferment par conséquent la solution du problème. Mais pour en pouvoir déduire les lois de la propagation du mouvement dans le cristal que nous considérons, il est né-

cessaire de les réduire, ainsi que nous allons le faire, à une forme plus simple.

(46) Pour cela, je considère α, β, γ, comme les coordonnées rectangulaires d'un point quelconque M′ de l'espace, rapportées à des axes parallèles à ceux des x, y, z, et menées par le point M. Je désigne par ρ' le rayon vecteur MM′, par μ l'angle que fait cette droite avec l'axe parallèle à l'axe des z, par λ l'angle compris entre la projection de MM′ sur le plan des deux autres axes avec la parallèle à l'axe des x, nous aurons

$$\alpha = \rho' \sin\mu \cos\lambda, \quad \beta = \rho' \sin\mu \sin\lambda, \quad \gamma = \rho' \cos\mu.$$

Je regarde aussi x', y', z', comme les trois coordonnées d'un point M_1 de l'espace, rapportées aux mêmes axes que x, y, z. Si l'on transporte au point M l'origine des coordonnées de M_1 sans changer leurs directions, que l'on appelle ρ_1 le rayon vertical MM_1, et que μ' et λ' soient ce que deviennent les angles μ et λ, en passant de MM′ à cette droite MM_1, on aura

$$x' = x + \rho_1 \sin\mu' \cos\lambda',$$
$$y' = y + \rho_1 \sin\mu' \sin\lambda',$$
$$z' = z + \rho_1 \cos\mu' \sin\lambda'.$$

M. Poisson n'a pas achevé d'écrire le troisième paragraphe de ce premier mémoire, à la suite duquel, ainsi qu'il le dit au préambule de celui-ci, il se proposait encore de présenter à l'Académie un second mémoire sur la lumière. Pendant la maladie longue et douloureuse qui l'a enlevé aux sciences, il a bien souffert du regret d'emporter avec lui les décou-

vertes dont son imagination infatigable était pleine. Quand le mal moins avancé lui permettait encore de causer science avec ses amis, il a dit qu'il avait trouvé comment il pouvait se faire, qu'un ébranlement ne se propageât dans un milieu élastique que suivant une seule direction ; le mouvement propagé suivant les directions latérales étant insensible aussitôt que l'angle de ces directions avec celle de la propagation était appréciable. Il arrivait ainsi à la propagation de la lumière en ligne droite. Plus tard, cédant au mal, et se décidant enfin à interrompre l'impression de son mémoire : c'était pourtant, a-t-il dit, la partie originale, c'était décisif pour la lumière ; et cherchant avec peine le mot pour exprimer son idée, il a répété plusieurs fois : c'était un *filet* de lumière. Puissent ces paroles, religieusement conservées par les amis de M. Poisson, les dernières paroles de science qui soient sorties de sa bouche, mettre les savants sur la trace de sa pensée, et inspirer un achèvement de son œuvre digne du commencement.

Typographie de Firmin Didot Frères, rue Jacob, 56.

MÉMOIRE

SUR

LA POLARISATION RECTILIGNE

ET LA

DOUBLE RÉFRACTION,

Présenté à l'Académie des sciences, le 20 mai 1839,

PAR M. AUGUSTIN CAUCHY.

Ce mémoire sera divisé en trois paragraphes. Dans le premier paragraphe, après avoir rappelé les formules qui représentent les mouvements du fluide lumineux, dans le cas où la polarisation est rectiligne, je chercherai ce que deviennent ces formules quand on s'arrête à l'approximation du premier ordre, en négligeant la dispersion. Dans le second paragraphe, je montrerai comment on peut déduire, des formules dont je viens de parler, les axes optiques des milieux doués de la double réfraction. Enfin, dans le troisième paragraphe, j'indiquerai une méthode très-simple, qui fournit

immédiatement l'équation de ce qu'on nomme la surface des ondes.

§ I^er.

Polarisation rectiligne.

Considérons un système de molécules sollicitées par des forces d'attraction ou de répulsion mutuelles ; supposons que ces molécules se réduisent à celles du fluide éthéré dans un milieu doué de la double réfraction, et soient, au bout du temps t,

ξ, η, ζ, les déplacements de la molécule m qui coïncide avec le point (x, y, z), ces déplacements étant mesurés parallèlement aux axes coordonnés;

r la distance de l'origine des coordonnées au plan de l'onde lumineuse qui passe par le point (x, y, z);

l l'épaisseur d'une onde lumineuse;

T le temps d'une vibration du fluide éthéré. Enfin posons :

$$k = \frac{2\pi}{l}, \quad s = \frac{2\pi}{T},$$

Les équations du mouvement de l'éther dans la polarisation rectiligne seront :

$$(1) \quad \begin{cases} \xi = A\cos(kr - st + \varpi), & \eta = B\cos(kr - st + \varpi), \\ \zeta = C\cos(kr - st + \varpi), \end{cases}$$

[voir le mémoire lithographié, sous la date d'août 1836, p. 81]

ϖ, A, B, C, désignant quatre constantes, dont les trois dernières seront liées entre elles par trois équations de la forme

$$(2)\qquad \begin{cases} (\mathfrak{L} - s^2)\,\mathrm{A} + \mathfrak{R}\mathrm{B} + \mathfrak{Q}\mathrm{C} = 0, \\ \mathfrak{R}\mathrm{A} + (\mathfrak{M} - s^2)\,\mathrm{B} + \mathfrak{P}\mathrm{C} = 0, \\ \mathfrak{Q}\mathrm{A} + \mathfrak{R}\mathrm{B} + (\mathfrak{N} - s^2)\,\mathrm{C} = 0, \end{cases}$$

où les coefficients $\mathfrak{L}$, $\mathfrak{M}$, $\mathfrak{N}$ dépendront de l'épaisseur et de la direction d'une onde plane. Si d'ailleurs on nomme

$$a, b, c$$

les cosinus des angles que forme, avec les demi-axes des coordonnées positives, la perpendiculaire au plan de l'onde qui passe par le point (x, y, z), on aura non-seulement

$$(3)\qquad a^2 + b^2 + c^2 = 1,$$

mais encore

$$(4)\qquad ax + by + cz = r;$$

et, si l'on prend

$$(5)\qquad u = ka, \quad v = kb, \quad w = kc,$$

on tirera des équations (4) et (5)

$$(6)\qquad u^2 + v^2 + w^2 = k^2,$$

et

$$(7)\qquad ux + vy + wz = kr.$$

Alors aussi le plan, mené par l'origine parallèlement à celui de l'onde lumineuse, pourra être représenté à volonté par l'une ou l'autre des deux formules

$$(8)\qquad ax + by + cz = 0, \quad ux + vy + wz = 0.$$

D'autre part, comme on tirera des équations (1)

$$\frac{\xi}{A} = \frac{\eta}{B} = \frac{\zeta}{C}, \tag{9}$$

il est clair que, dans le mouvement exprimé par ces équations, les molécules éthérées se déplaceront parallèlement à la droite représentée par la formule

$$\frac{x}{A} = \frac{y}{B} = \frac{z}{C}. \tag{10}$$

Donc A, B, C, désigneront des quantités proportionnelles aux cosinus des angles formés par cette droite avec les demi-axes des coordonnées positives, et pourront représenter ces cosinus eux-mêmes, si aux formules (2) on joint la suivante :

$$A^2 + B^2 + C^2 = 1. \tag{11}$$

Enfin, il est évident que les valeurs de ξ, η, ζ, fournies par les équations (1), ne varieront pas, si l'on y fait croître simultanément t de Δt et r de $\Omega\Delta t$, pourvu que la valeur de Ω vérifie la condition

$$k\Omega = s \tag{12}$$

de laquelle on tire

$$\Omega = \frac{s}{k} = \frac{T}{l}. \tag{13}$$

Donc la vitesse de propagation de la lumière sera précisément la valeur de Ω, déterminée par la formule (13).

Si l'on fait pour abréger

$$\mathfrak{L} = \mathfrak{l} - \frac{\mathfrak{Q}\mathfrak{R}}{\mathfrak{P}}, \quad \mathfrak{M} = \mathfrak{m} - \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{P}}{\mathfrak{Q}}, \quad \mathfrak{N} = \mathfrak{n} - \frac{\mathfrak{P}\mathfrak{Q}}{\mathfrak{R}}, \tag{14}$$

les formules (2) donneront

$$(15)\qquad \begin{cases} (s^2 - \mathfrak{L})\,A = \mathfrak{QR}\left(\dfrac{A}{\mathfrak{P}} + \dfrac{B}{\mathfrak{Q}} + \dfrac{C}{\mathfrak{R}}\right), \\ (s^2 - \mathfrak{M})\,B = \mathfrak{RP}\left(\dfrac{A}{\mathfrak{P}} + \dfrac{B}{\mathfrak{Q}} + \dfrac{C}{\mathfrak{R}}\right), \\ (s^2 - \mathfrak{N})\,C = \mathfrak{PQ}\left(\dfrac{A}{\mathfrak{P}} + \dfrac{B}{\mathfrak{Q}} + \dfrac{C}{\mathfrak{R}}\right), \end{cases}$$

puis on en tirera

$$(16)\qquad \frac{(s^2-\mathfrak{L})A}{\mathfrak{QR}} = \frac{(s^2-\mathfrak{M})B}{\mathfrak{RP}} = \frac{(s^2-\mathfrak{N})C}{\mathfrak{PQ}} = \frac{A}{\mathfrak{P}} + \frac{B}{\mathfrak{Q}} + \frac{C}{\mathfrak{R}}$$
$$= \frac{\dfrac{A}{\mathfrak{P}} + \dfrac{B}{\mathfrak{Q}} + \dfrac{C}{\mathfrak{R}}}{\dfrac{\mathfrak{PQ}}{\mathfrak{P}(s^2-\mathfrak{L})} + \dfrac{\mathfrak{RP}}{\mathfrak{Q}(s^2-\mathfrak{M})} + \dfrac{\mathfrak{PQ}}{\mathfrak{R}(s^2-\mathfrak{N})}},$$

et par suite

$$(17)\qquad \frac{\mathfrak{QR}}{\mathfrak{P}(s^2-\mathfrak{L})} + \frac{\mathfrak{RP}}{\mathfrak{Q}(s^2-\mathfrak{M})} + \frac{\mathfrak{PQ}}{\mathfrak{R}(s^2-\mathfrak{N})} = 1,$$

ou, ce qui revient au même,

$$(18)\quad \mathfrak{Q}^2\mathfrak{R}^2(s^2-\mathfrak{M})(s^2-\mathfrak{N}) + \mathfrak{R}^2\mathfrak{P}^2(s^2-\mathfrak{N})(s^2-\mathfrak{L}) + \mathfrak{P}^2\mathfrak{Q}^2(s^2-\mathfrak{L})(s^2-\mathfrak{M})$$
$$= \mathfrak{PQR}(s^2-\mathfrak{L})(s^2-\mathfrak{M})(s^2-\mathfrak{N}).$$

L'équation (18) étant du troisième degré, par rapport à s^2, fournira trois valeurs de s^2, et par suite trois valeurs de la quantité positive s, auxquelles répondront trois systèmes de valeurs des rapports

$$\frac{B}{A'}\quad\frac{C}{A'}$$

déterminés par les équations (2), et par suite trois droites, représentées chacune par une formule semblable à la formule (10). Or, d'après la forme des équations (2), on reconnaît immédiatement que les trois droites dont il s'agit sont

respectivement parallèles aux trois axes de l'ellipsoïde représenté par l'équation

$$(19) \qquad \mathfrak{L}x^2 + \mathfrak{M}y^2 + \mathfrak{N}z^2 + 2\mathfrak{P}yz + 2\mathfrak{Q}zx + 2\mathfrak{R}xy = 1,$$

ou, ce qui revient au même, par la suivante

$$(20) \qquad \mathfrak{L}x^2 + \mathfrak{M}y^2 + \mathfrak{N}z^2 + \mathfrak{P}\mathfrak{Q}\mathfrak{R}\left(\frac{x}{\mathfrak{P}} + \frac{y}{\mathfrak{Q}} + \frac{z}{\mathfrak{R}}\right)^2 = 1,$$

tandis que les trois valeurs de s sont respectivement égales aux quotients qu'on obtient en divisant l'unité par les trois demi-axes de cet ellipsoïde.

Soient maintenant :

r la distance de la molécule $\mathfrak{m}$, ou du point (x, y, z) avec lequel elle coïncide, à une molécule voisine m, dont les coordonnées sont $x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z$;

$\mathfrak{m}mf(r)$ l'action mutuelle des deux molécules $\mathfrak{m}$, m ;

$\alpha, \mathcal{C}, \gamma$, les angles formés par le rayon r avec les demi-axes des coordonnées positives ;

δ l'angle formé par le même rayon avec la perpendiculaire abaissée de l'origine sur le plan de l'onde.

Enfin posons

$$(21) \qquad f(r) = rf'(r) - f(r).$$

On aura

$$(22) \qquad \cos\delta = a\cos\alpha + b\cos\mathcal{C} + c\cos\gamma,$$

par conséquent

$$(23) \qquad k\cos\delta = u\cos\alpha + v\cos\mathcal{C} + w\cos\gamma.$$

Cela posé, si l'on fait pour abréger

$$(24)\qquad \mathfrak{z} = \mathrm{S}\left[m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\Big(1-\cos(kr\cos\delta)\Big)\right],$$

$$(25)\qquad \mathfrak{X} = \mathrm{S}\left[m\frac{f(r)}{r}\Big(\frac{1}{2}k^2\cos^2\delta+\frac{\cos(kr\cos\delta)}{r^2}\Big)\right],$$

le signe S indiquant une somme de termes semblables, relatifs aux diverses molécules m voisines de $\mathfrak{m}$; les valeurs de $\mathfrak{z}$, $\mathfrak{X}$, déterminées par les formules (24), (25), ou, ce qui revient au même, par les suivantes

$$(26)\quad \mathfrak{z} = \mathrm{S}\left[m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\Big(1-\cos r(u\cos\alpha+v\cos\mathcal{C}+w\cos\gamma)\Big)\right],$$

$$(27)\quad \mathfrak{X} = \mathrm{S}\left\{m\frac{f(r)}{r}\left[\frac{(u\cos\alpha+v\cos\mathcal{C}+w\cos\gamma)^2}{2}+\frac{\cos r(u\cos\alpha+v\cos\mathcal{C}+w\cos\gamma)}{r^2}\right]\right\},$$

pourront être considérées comme des fonctions des seules quantités u, v, w; et les valeurs des coefficients

$$\mathfrak{L},\ \mathfrak{M},\ \mathfrak{N},\ \mathfrak{P},\ \mathfrak{Q},\ \mathfrak{R},$$

contenus dans les équations (2), seront déterminées en fonction de u, v, w par les formules

$$(28)\qquad \mathfrak{L} = \mathfrak{z} + \frac{d^2\mathfrak{X}}{du^2},\quad \mathfrak{M} = \mathfrak{z} + \frac{d^2\mathfrak{X}}{dv^2},\quad \mathfrak{N} = \mathfrak{z} + \frac{d^2\mathfrak{X}}{dw^2},$$

$$(29)\qquad \mathfrak{P} = \frac{d^2\mathfrak{X}}{dvdw},\quad \mathfrak{Q} = \frac{d^2\mathfrak{X}}{dwdu},\quad \mathfrak{R} = \frac{d^2\mathfrak{X}}{dudv},$$

[voir le mémoire lithographié, page 79]. Les formules (26), (27), (28), (29) supposent que les deux conditions

$$(30)\quad \mathrm{S}\Big(m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\sin(kr\cos\delta)\Big) = 0,\quad \mathrm{S}\Big(m\frac{f(r)}{r}\sin(kr\cos\delta)\Big) = 0,$$

ou, ce qui revient au même, les deux suivantes

$$(31)\quad \begin{cases} S\left(m\,\frac{f(r)}{r}\sin r(u\cos\alpha+v\cos\beta+w\cos\gamma)\right)=0, \\ S\left(m\,\frac{f(r)}{r}\sin r(u\cos\alpha+v\cos\beta+w\cos\gamma)\right)=0, \end{cases}$$

se trouvent vérifiées, quelles que soient les valeurs attribuées à u, v, w; ce qui arrivera, par exemple, si dans l'état d'équilibre du fluide éthéré les diverses molécules sont deux à deux égales et distribuées symétriquement de part et d'autre d'une molécule quelconque $\mathfrak{m}$, sur des droites menées par le point avec lequel cette molécule coïncide.

En vertu des formules (26), (27), (28), (29), jointes aux équations (14), les coefficients

$$\mathfrak{L},\ \mathfrak{M},\ \mathfrak{N},\ \mathfrak{P},\ \mathfrak{Q},\ \mathfrak{R},\ \mathfrak{L},\ \mathfrak{M},\ \mathfrak{N},$$

représentent des fonctions déterminées des trois quantités

$$u,\ v,\ w,\ \text{ou}\ ka,\ kb,\ kc;$$

par conséquent des trois cosinus

$$a,\ b,\ c$$

et de la quantité k. Considérés simplement comme fonctions de k, ces coefficients sont développables en séries qui, ordonnées suivant les puissances ascendantes de k, offriront des premiers termes proportionnels à k^2. Cela posé, étant donnés les trois cosinus a, b, c, qui déterminent la direction d'une onde plane, et l'épaisseur l de cette onde, ou, ce qui revient au même, la quantité k, l'équation (18) fournira trois valeurs différentes de s, et par suite trois valeurs différentes de $\Omega=\frac{\lambda}{k}$, qui se trouveront immédiatement exprimées en

fonctions de a, b, c, k. Il y a plus : comme l'équation (18) fait dépendre s de k, et réciproquement k de s, on pourra supposer les trois valeurs de Ω exprimées en fonctions de a, b, c, s. D'ailleurs la constante s ou T est celle qui détermine la nature de la couleur. Donc la propagation de la lumière dans une direction donnée donnera généralement naissance, pour chaque couleur, à trois systèmes d'ondes planes, qui se propageront dans un milieu doublement réfringent, avec trois vitesses différentes. De ces trois systèmes d'ondes planes, deux correspondront évidemment aux deux rayons lumineux qui ont été observés dans les milieux doués de la double réfraction, et qui se réunissent de manière à n'en plus former qu'un seul dans les milieux où la réfraction est simple. Quant au troisième système d'ondes, il répond à des vibrations d'une nature particulière dans le fluide éthéré, qui n'ont point été encore observées, à moins qu'elles ne soient précisément les vibrations calorifiques. Si l'on réduisait les développements obtenus à leurs premiers termes, respectivement proportionnels à k^2, les trois valeurs de s seraient proportionnelles à k; par conséquent les trois valeurs de $\Omega = \frac{s}{k}$ deviendraient indépendantes de k, ou de s, et dépendraient uniquement des cosinus a, b, c. Donc alors la vitesse de chaque système d'ondes deviendrait indépendante de la nature de la couleur; et les formules obtenues seraient celles auxquelles on parvient quand on néglige la dispersion. Alors aussi les valeurs de

$$\frac{B}{A}, \frac{C}{A}$$

tirées des équations (2) seraient elles-mêmes indépendantes

de k ou de s, et pour une direction donnée du plan représenté par l'équation (8), c'est-à-dire, pour des valeurs données de a, b, c, on obtiendrait trois espèces d'ondes propagées avec trois vitesses différentes, et dans lesquelles les vibrations moléculaires seraient parallèles à trois axes rectangulaires, savoir aux trois axes de l'ellipsoïde représenté par l'équation (19). Il y a plus : les trois espèces d'ondes qui rempliront ces dernières conditions, pourront être censées correspondre à la même valeur de k et à trois couleurs différentes, ou bien à la même couleur et à trois valeurs différentes de k, puisque les trois valeurs de chacune des quantités

$$\Omega, \frac{B}{A}, \frac{C}{A}$$

dépendront uniquement de a, b, c. Mais, si l'on cesse de négliger la dispersion, les valeurs de

$$\Omega, \frac{B}{A}, \frac{C}{A}$$

dépendront, en vertu des formules (15) et (18), non-seulement de a, b, c, mais encore de la quantité k ou l, par conséquent de l'épaisseur d'une onde ; et les trois espèces d'ondes, dans lesquelles les vibrations moléculaires seront respectivement parallèles aux trois axes de l'ellipsoïde représenté par l'équation (19), correspondront à une même valeur de k, et à trois valeurs différentes de $s = k\Omega$, ou à trois couleurs différentes, les trois valeurs de s étant déterminées par l'équation (18), ainsi que les trois valeurs correspondantes de la vitesse de propagation Ω. Il ne sera pas inutile d'observer

que l'ellipsoïde représenté par l'équation (19) peut l'être encore par la suivante

$$(32)\left\{\begin{array}{c} 3(x^2+y^2+z^2) \\ +x^2\frac{d^2\mathfrak{K}}{du^2}+y^2\frac{d^2\mathfrak{K}}{dv^2}+z^2\frac{d^2\mathfrak{K}}{dw}+2yz\frac{d^2\mathfrak{K}}{dvdw}+2zx\frac{d^2\mathfrak{K}}{dwdu}+2xy\frac{d^2\mathfrak{K}}{dudv}=1, \end{array}\right.$$

à laquelle on parvient en substituant dans l'équation (19) les valeurs de L, M, N, P, Q, R, tirées des formules (28) et (29).

Dans un milieu doué de la double réfraction, on peut en général faire passer par un point quelconque trois plans rectangulaires entre eux, et tellement choisis, qu'étant données deux droites symétriquement placées par rapport à l'un de ces plans, les ondes planes perpendiculaires soit à l'une, soit à l'autre droite, se propagent avec la même vitesse, et que dans les deux espèces d'ondes perpendiculaires aux deux droites, les molécules symétriquement placées, par rapport au plan que l'on considère, offrent encore des vitesses de vibration égales, dont les directions soient celles de deux nouvelles droites symétriquement disposées de part et d'autre du même plan. L'expérience montre du moins qu'en chaque point d'un milieu doublement réfringent, ces conditions se trouvent remplies, par rapport à trois plans rectangulaires entre eux, à l'égard des deux systèmes d'ondes planes qui correspondent aux deux systèmes de rayons lumineux observés. Il est naturel de supposer que les mêmes conditions se vérifieraient encore à l'égard du troisième système d'ondes planes. Nous admettrons cette hypothèse, et nous appellerons *axes de polarisation* les trois axes rectangulaires, suivant lesquels se coupent les trois plans dont il s'agit; axes qui, comme ces plans, restent parallèles à eux-mêmes, quand le point par

lequel ils passent varie. Si, en faisant coïncider ce point avec l'origine des coordonnées, on prend les axes de polarisation pour axes des x, y, z; les trois valeurs de la vitesse Ω, par conséquent les trois valeurs de la quantité $s = k\Omega$, déterminées, à l'aide de la formule (18), en fonctions de a, b, c, k ou de u, v, w, resteront invariables, quand, des trois cosinus

$$a, b, c,$$

un seul, par exemple a, changera de signe avec $ka = u$, tandis que les valeurs correspondantes de A, et par suite celles des rapports

$$\frac{B}{A}, \frac{C}{A},$$

déterminées à l'aide des formules (15), changeront de signes. Donc alors, dans l'ellipsoïde représenté par l'équation (19) ou (32), les longueurs des trois demi-axes, respectivement égales aux quotients qu'on obtient en divisant l'unité par les trois valeurs de s, resteront invariables; tandis que chacune des trois droites, suivant lesquelles sont dirigés les trois axes de l'ellipsoïde, se trouvera remplacée par une droite symétriquement placée de l'autre côté du plan des y, z. En effet, lorsque le changement de a en $-a$, ou ce qui revient au même, de u en $-u$, entraînera un changement de signe des rapports

$$\frac{B}{A}, \frac{C}{A},$$

la formule (10) se trouvera remplacée par la suivante

$$-\frac{x}{A} = \frac{y}{B} = \frac{z}{C}; \tag{33}$$

et les formules (10), (33) représentent évidemment deux droites symétriquement disposées de part et d'autre du

plan des y, z. Il y a plus : d'après ce qu'on vient de dire, dans tout milieu réfringent qui aura pour axe de polarisation les axes rectangulaires des x, y, z, le changement de u en $-u$ transformera l'ellipsoïde représenté par l'équation (19) ou (32), en un autre ellipsoïde, qui offrira des axes égaux à ceux du premier, et dirigés, non plus suivant les mêmes droites, mais suivant des droites symétriquement placées de l'autre côté du plan des y, z. Donc, le nouvel ellipsoïde sera égal au premier, et tous deux seront symétriquement placés par rapport au plan des y, z. Donc l'équation du nouvel ellipsoïde sera celle qu'on obtient en remplaçant dans l'équation (32) x par $-x$, savoir :

$$(34)\quad \left\{\begin{array}{c} \mathfrak{z}(x^2+y^2+z^2) \\ x^2\frac{d^2\mathfrak{X}}{dv^2}+y^2\frac{d^2\mathfrak{X}}{dv^2}+z^2\frac{d^2\mathfrak{X}}{dw^2}+2yz\frac{d^2\mathfrak{X}}{dvdw}-2zx\frac{d^2\mathfrak{X}}{dwdu}-2xy\frac{d^2\mathfrak{X}}{dudv}=1; \end{array}\right.$$

par conséquent $\mathfrak{z}$ restera invariable, tandis que u changera de signe ; et, des six dérivées du second ordre

$$(35)\qquad \frac{d^2\mathfrak{X}}{du^2},\ \frac{d^2\mathfrak{X}}{dv^2},\ \frac{d^2\mathfrak{X}}{dw^2},\ \frac{d^2\mathfrak{X}}{dvdw},\ \frac{d^2\mathfrak{X}}{dwdu},\ \frac{d^2\mathfrak{X}}{dudv}$$

les deux dernières devront seules changer de signe avec u. Or, cette condition ne pourra être remplie, pour la fonction de u, v, w, représentée par $\mathfrak{X}$, et développable, en vertu de la formule (27), suivant les puissances ascendantes et entières des variables u, v, w, en une série dont chaque terme sera de degré pair relativement au système de ces trois variables, à moins que tous les termes proportionnels à des puissances impaires de la variable u ne disparaissent par la réduction de leurs coefficients à zéro. Effectivement, les termes de cette espèce étant différentiés deux fois de suite par rapport à u,

ou bien une seule fois par rapport à u, et une seule fois par rapport à v ou à w, fourniront chacun trois dérivées du second ordre, qui, si elles diffèrent de zéro, changeront de signe avec u dans le premier cas, sans en changer dans le second, et qui, en conséquence, devront disparaître des developpements des trois expressions

$$\frac{d^2\mathfrak{H}}{du^2},\quad \frac{d^2\mathfrak{H}}{dudv},\quad \frac{d^2\mathfrak{H}}{dudw}. \tag{36}$$

Or, $\mathfrak{H}$ ne renfermant aucun terme proportionnel à la seule variable u, la disparition dont il s'agit ne peut avoir lieu que dans le cas où tous les termes proportionnels à des puissances impaires de u disparaissent eux-mêmes, et s'évanouissent avec leurs coefficients respectifs. Par conséquent, dans un milieu qui offrira pour axes de polarisation les axes rectangulaires des x, y, z, $\mathfrak{H}$ restera invariable avec $\mathfrak{H}$, tandis que u changera de signe. On prouvera de même que, dans un tel milieu, $\mathfrak{H}$ et $\mathfrak{H}$ devront rester invariables, après le changement de signe de v ou de w. Donc, en définitive, les développements de $\mathfrak{H}$ et de $\mathfrak{H}$ devront alors renfermer uniquement les puissances paires de chacune des variables u, v, w, et les seconds membres des formules (26), (27) ne seront point altérés quand on y remplacera ensemble ou séparément u par $-u$, v par $-v$ et w par $-w$. Ainsi l'on aura, quels que soient u, v, w

$$\left\{\begin{aligned}
&\mathrm{S}\left[m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\cos r(\ u\ \cos\alpha+v\cos\mathfrak{G}+w\cos\gamma)\right]\\
&=\mathrm{S}\left[m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\cos r(-u\cos\alpha+v\cos\mathfrak{G}+w\cos\gamma)\right]\\
&=\mathrm{S}\left[m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\cos r(\ u\ \cos\alpha-v\cos\mathfrak{G}+w\cos\gamma)\right]\\
&=\mathrm{S}\left[m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\cos r(\ u\ \cos\alpha+v\cos\mathfrak{G}-w\cos\gamma)\right],
\end{aligned}\right. \tag{37}$$

et

$$(38)\begin{cases} \mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\left[\frac{(u\cos\alpha+v\cos\beta+w\cos\gamma)^2}{2}+\frac{\cos r\,(u\cos\alpha+v\cos\beta+w\cos\gamma)}{2}\right]\right) \\ =\mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\left[\frac{(-u\cos\alpha+v\cos\beta+w\cos\gamma)^2}{2}+\frac{\cos r(-u\cos\alpha+v\cos\beta+w\cos\gamma)}{2}\right]\right) \\ =\mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\left[\frac{(u\cos\alpha-v\cos\beta+w\cos\gamma)^2}{2}+\frac{\cos r\,(u\cos\alpha-v\cos\beta+w\cos\gamma)}{2}\right]\right) \\ =\mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\left[\frac{(u\cos\alpha+v\cos\beta-w\cos\gamma)^2}{2}+\frac{\cos r(u\cos\alpha+v\cos\beta-w\cos\gamma)}{2}\right]\right), \end{cases}$$

or, ce qui revient au même,

$$(39)\begin{cases} \mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\sin(rv\cos\beta)\sin(rw\cos\gamma)\cos(ru\cos\alpha)\right)=0, \\ \mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\sin(rw\cos\gamma)\sin(ru\cos\alpha)\cos(rv\cos\beta)\right)=0, \\ \mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\sin(ru\cos\alpha)\sin(rv\cos\beta)\cos(rw\cos\gamma)\right)=0, \end{cases}$$

et

$$(40)\begin{cases} \mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\left[vw\cos\beta\cos\gamma-\frac{\sin(rv\cos\beta)\sin(rw\cos\gamma)\cos(ru\cos\alpha)}{r^2}\right]\right)=0, \\ \mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\left[wu\cos\gamma\cos\alpha-\frac{\sin(rw\cos\gamma)\sin(ru\cos\alpha)\cos(rv\cos\beta)}{r^2}\right]\right)=0, \\ \mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r}\left[uv\cos\alpha\cos\beta-\frac{\sin(ru\cos\alpha)\sin(rv\cos\beta)\cos(rw\cos\gamma)}{r^2}\right]\right)=0. \end{cases}$$

Les formules (39) et (40), devant, ainsi que les formules (31), subsister indépendamment des valeurs attribuées à u, v, w, entraîneront les diverses conditions qu'on obtient quand, après avoir développé les seconds membres de ces formules en séries ordonnées suivant les puissances ascendantes de u, v, w, on égale à zéro le coefficient de chaque terme. Les con-

ditions ainsi obtenues se vérifieront, par exemple, si les molécules d'éther sont deux à deux égales entre elles, et distribuées symétriquement de part et d'autre d'un plan mené par une molécule quelconque $\mathfrak{m}$ parallèlement à l'un quelconque des plans coordonnés.

En vertu des formules (39), (40), les équations (26), (27) donneront

$$(41)\quad \mathfrak{z} = S\left[m\frac{f(r)}{r}\Big(1-\cos(ru\cos\alpha)\cos(rv\cos\beta)\cos(rw\cos\gamma)\Big)\right],$$

$$(42)\quad \mathfrak{x} = S\left(m\frac{f(r)}{r}\left[\frac{u^2\cos^2\alpha+v^2\cos^2\beta+w^2\cos^2\gamma}{2}+\frac{\cos(ru\cos\alpha)\cos(rv\cos\beta)\cos(rw\cos\gamma)}{r^2}\right]\right).$$

Si l'on développe les seconds membres de ces dernières, et si l'on fait d'ailleurs, pour abréger,

$$(43)\quad \begin{cases} G = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^2\alpha\right), \quad H = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^2\beta\right), \\ I = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^2\gamma\right), \end{cases}$$

$$(44)\quad \begin{cases} L = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^4\alpha\right), \quad M = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^4\beta\right), \\ N = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^4\gamma\right), \end{cases}$$

$$(45)\quad \begin{cases} P = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^2\beta\cos^2\gamma\right), \quad Q = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^2\gamma\cos^2\alpha\right), \\ R = S\left(\frac{mr}{2}f(r)\cos^2\alpha\cos^2\beta\right), \end{cases}$$

on trouvera

$$(46)\qquad \mathfrak{z} = Gu^2 + Hv^2 + Iw^2 + \text{etc.}$$

$$(47)\quad \begin{cases} \mathfrak{X} = \mathrm{S}\left(m\frac{f(r)}{r^3}\right) \\ + \frac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{L}u^4 + \mathrm{M}v^4 + \mathrm{N}w^4}{6} + \mathrm{P}v^2w^2 + \mathrm{Q}w^2u^2 + \mathrm{R}u^2v^2\right) + \text{etc.}; \end{cases}$$

puis on en conclura, eu égard aux formules (28) et (29),

$$(48)\quad \begin{cases} \mathfrak{L} = (\mathrm{L}+\mathrm{G})u^2 + (\mathrm{R}+\mathrm{H})v^2 + (\mathrm{Q}+\mathrm{I})w^2 + \text{etc.}, \\ \mathfrak{M} = (\mathrm{R}+\mathrm{G})u^2 + (\mathrm{M}+\mathrm{H})v^2 + (\mathrm{P}+\mathrm{I})w^2 + \text{etc.}, \\ \mathfrak{N} = (\mathrm{Q}+\mathrm{G})u^2 + (\mathrm{P}+\mathrm{H})v^2 + (\mathrm{N}+\mathrm{I})w^2 + \text{etc.}, \end{cases}$$

$$(49)\quad \begin{cases} \mathfrak{P} = 2\mathrm{P}vw + \text{etc.}, \\ \mathfrak{Q} = 2\mathrm{Q}wu + \text{etc.}, \\ \mathfrak{R} = 2\mathrm{R}uv + \text{etc.}; \end{cases}$$

et par suite, eu égard aux formules (14),

$$(50)\quad \begin{cases} \mathfrak{L} = (\mathrm{L} - 2\frac{\mathrm{QR}}{\mathrm{P}} + \mathrm{G})u^2 + (\mathrm{R}+\mathrm{H})v^2 + (\mathrm{Q}+\mathrm{I})w^2 + \text{etc.}, \\ \mathfrak{M} = (\mathrm{Q}+\mathrm{G})u^2 + (\mathrm{M} - 2\frac{\mathrm{RP}}{\mathrm{Q}} + \mathrm{H})v^2 + (\mathrm{P}+\mathrm{I})w^2 + \text{etc.}, \\ \mathfrak{N} = (\mathrm{R}+\mathrm{G})u^2 + (\mathrm{P}+\mathrm{H})v^2 + (\mathrm{N} - 2\frac{\mathrm{PQ}}{\mathrm{R}} + \mathrm{I})w^2 + \text{etc.} \end{cases}$$

Enfin, si l'on pose

$$(51)\quad \begin{cases} \mathfrak{A} = (\mathrm{L} - 2\frac{\mathrm{QR}}{\mathrm{P}} + \mathrm{G})a^2 + (\mathrm{R}+\mathrm{H})b^2 + (\mathrm{Q}+\mathrm{I})c^2, \\ \mathfrak{B} = (\mathrm{R}+\mathrm{G})a^2 + (\mathrm{M} - 2\frac{\mathrm{RP}}{\mathrm{Q}} + \mathrm{H})b^2 + (\mathrm{P}+\mathrm{I})c^2, \\ \mathfrak{C} = (\mathrm{Q}+\mathrm{G})a^2 + (\mathrm{P}+\mathrm{H})b^2 + (\mathrm{N} - 2\frac{\mathrm{PQ}}{\mathrm{R}} + \mathrm{I})c^2, \end{cases}$$

on tirera des formules (49), (50), jointes aux équations (5),

$$(52)\quad \mathfrak{P} = 2\mathrm{P}bck^2 + \text{etc.}, \quad \mathfrak{Q} = 2\mathrm{Q}cak^2 + \text{etc.}, \quad \mathfrak{R} = 2\mathrm{R}abk^2 + \text{etc.},$$

$$(53)\quad \mathfrak{L} = \mathfrak{A}k^2 + \text{etc.}, \quad \mathfrak{M} = \mathfrak{B}k^2 + \text{etc.}, \quad \mathfrak{N} = \mathfrak{C}k^2 + \text{etc.}$$

Pour obtenir l'approximation relative au cas où l'on néglige la dispersion, l'on devra, dans les développements de

$$\mathfrak{P},\ \mathfrak{Q},\ \mathfrak{R},\ \mathfrak{L},\ \mathfrak{M},\ \mathfrak{N}$$

fournis par les équations (52), (53), conserver seulement les premiers termes, c'est-à-dire, les termes proportionnels à k^2. En opérant ainsi, l'on aura simplement

$$\mathfrak{P} = 2\mathrm{P}bck^2, \quad \mathfrak{Q} = 2\mathrm{Q}cak^2, \quad \mathfrak{R} = 2\mathrm{R}abk^2, \tag{54}$$

$$\mathfrak{L} = \mathfrak{A}k^2, \quad \mathfrak{M} = \mathfrak{B}k^2, \quad \mathfrak{N} = \mathfrak{C}k^2; \tag{55}$$

et, en vertu de ces dernières équations, jointes à la formule (12), les équations (15), (17), (18), (20) donneront respectivement

$$\begin{cases} (\Omega^2 - \mathfrak{A})\,\mathrm{A} = 2\mathrm{QR}a\left(\dfrac{a\mathrm{A}}{\mathrm{P}} + \dfrac{b\mathrm{B}}{\mathrm{Q}} + \dfrac{c\mathrm{C}}{\mathrm{R}}\right), \\ (\Omega^2 - \mathfrak{B})\,\mathrm{B} = 2\mathrm{RP}b\left(\dfrac{a\mathrm{A}}{\mathrm{P}} + \dfrac{b\mathrm{B}}{\mathrm{Q}} + \dfrac{c\mathrm{C}}{\mathrm{R}}\right), \\ (\Omega^2 - \mathfrak{C})\,\mathrm{C} = 2\mathrm{PQ}c\left(\dfrac{a\mathrm{A}}{\mathrm{P}} + \dfrac{b\mathrm{B}}{\mathrm{Q}} + \dfrac{c\mathrm{C}}{\mathrm{R}}\right); \end{cases} \tag{56}$$

$$\frac{\left(\frac{a}{\mathrm{P}}\right)^2}{\Omega^2 - \mathfrak{A}} + \frac{\left(\frac{b}{\mathrm{Q}}\right)^2}{\Omega^2 - \mathfrak{B}} + \frac{\left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2}{\Omega^2 - \mathfrak{C}} = \frac{1}{2\mathrm{PQR}}; \tag{57}$$

$$\left(\frac{a}{\mathrm{P}}\right)^2(\Omega^2 - \mathfrak{B})(\Omega^2 - \mathfrak{C}) + \left(\frac{b}{\mathrm{Q}}\right)^2(\Omega^2 - \mathfrak{C})(\Omega^2 - \mathfrak{A}) + \left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2(\Omega^2 - \mathfrak{A})(\Omega^2 - \mathfrak{B}) = \frac{(\Omega^2 - \mathfrak{A})(\Omega^2 - \mathfrak{B})(\Omega^2 - \mathfrak{C})}{2\mathrm{PQR}}; \tag{58}$$

$$\mathfrak{A}x^2 + \mathfrak{B}y^2 + \mathfrak{C}z^2 + 2\mathrm{PQR}\left(\frac{ax}{\mathrm{P}} + \frac{by}{\mathrm{Q}} + \frac{cz}{\mathrm{R}}\right)^2 = 1. \tag{59}$$

Les valeurs des quantités

$$\Omega, \quad \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{A}}, \quad \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{A}}$$

fournies par l'équation (57) ou (58), et par les équations (56), dépendent uniquement des cosinus a, b, c, et restent indépendantes de s ou de T, par conséquent de la nature de la couleur. Donc ces équations se rapportent effectivement au cas où l'on suppose les diverses couleurs propagées avec la même vitesse, c'est-à-dire, au cas où l'on néglige la dispersion. Ces mêmes équations supposent d'ailleurs que le milieu réfringent offre trois axes de polarisation respectivement parallèles aux axes rectangulaires des x, y, z.

Lorsque la propagation de la lumière s'effectue en tous sens suivant les mêmes lois, ce qui a lieu dans le vide, les valeurs de $\mathfrak{z}$ et de $\mathfrak{x}$ se réduisent aux suivantes

$$(60)\quad \mathfrak{z} = \mathrm{S}\left[m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\left(1-\frac{\sin kr}{kr}\right)\right] = k^2\mathrm{S}\left(\frac{mr}{2.3}\,\mathrm{f}(r)\right) + \text{etc.},$$

$$(61)\quad \mathfrak{x} = \mathrm{S}\left[m\frac{f(r)}{r^3}\left(\frac{1}{6}k^2r^2+\frac{\sin kr}{kr}\right)\right]$$
$$= \mathrm{S}\left[m\frac{f(r)}{r^3}\right] + \frac{k^4}{3.4}\mathrm{S}\left[\frac{mr}{2.5}f(r)\right] + \text{etc...}$$

[voir les formules (56), (57) du mémoire lithographié]. On a donc alors, eu égard à l'équation (6),

$$(62)\quad \mathfrak{z} = (u^2+v^2+w^2)\,\mathrm{S}\left[\frac{mr}{2.3}\,\mathrm{f}(r)\right] + \text{etc},$$

$$(63)\quad \mathfrak{x} = \mathrm{S}m\left[\frac{f(r)}{r^3}\right] + \frac{u^4+v^4+w^4+2v^2w^2+2w^2u^2+2u^2v^2}{3.4}\,\mathrm{S}\left[\frac{mr}{2.5}\,\mathrm{f}(r)\right] + \text{etc.}$$

Ces dernières formules devant s'accorder avec les formules (46), (47), quelles que soient les valeurs attribuées à u,

v, w; on en conclura, dans l'hypothèse admise

$$G = H = I = S\left[\frac{mr}{2.3}\,f(r)\right],$$

$$L = M = N = 3P = 3Q = 3R = S\left[\frac{mr}{2.5}f(r)\right].$$

Donc, lorsque la propagation de la lumière s'effectue en tous sens suivant les mêmes lois, les valeurs de

$$G, H, I, L, M, N, P, Q, R$$

vérifient les conditions

$$(64) \qquad G = H = I, \quad L = M = N = 3P = 3Q = 3R.$$

Au reste, pour obtenir immédiatement ces dernières formules, il suffit d'exprimer que les quantités

$$\mathfrak{z}, \mathfrak{X},$$

considérées comme fonctions de u, v, w, ou de

$$a, b, c, k,$$

dépendent uniquement de k, par conséquent de la somme

$$u^2 + v^2 + w^2 = k^2.$$

Car dès lors on doit avoir, quels que soient u, v, w,

$$Gu^2 + Hv^2 + Iw^2 = Gk^2 = G(u^2 + v^2 + w^2),$$
$$Lu^4 + Mv^4 + Nw^4 + 6Pv^2w^2 + 6Qw^2u^2 + 6Ru^2v^2 = Lk^4$$
$$= L(u^4 + v^4 + w^4 + 2v^2w^2 + 2w^2u^2 + 2u^2v^2),$$

et par suite

$$G = H = I, \quad L = M = N, \quad 6P = 6Q = 6R = 2L.$$

Des équations (28) et (29) jointes aux formules (60) et (61)

l'on tirera

$$(65)\qquad \mathfrak{L}=\mathcal{G}+\mathcal{F}u^2,\quad \mathfrak{M}=\mathcal{G}+\mathcal{F}v^2,\quad \mathfrak{N}=\mathcal{G}+\mathcal{F}w^2,$$

$$(66)\qquad \mathfrak{P}=\mathcal{F}vw,\quad \mathfrak{Q}=\mathcal{F}wu,\quad \mathfrak{R}=\mathcal{F}uv,$$

les valeurs de $\mathcal{G}$, $\mathcal{F}$ étant celles que déterminent les équations

$$(67)\qquad \mathcal{G}=\mathfrak{H}+\frac{1}{k}\frac{d\mathfrak{K}}{dk},$$

$$(68)\qquad \mathcal{F}=\frac{1}{k}\frac{d\left(\frac{1}{k}\frac{d\mathfrak{K}}{dk}\right)}{dk}$$

ou

$$(69)\quad \mathcal{G}=\mathrm{S}\left[m\frac{\mathrm{f}(r)}{r}\left(1-\frac{\sin kr}{kr}\right)\right]+\mathrm{S}\left[m\frac{f(r)}{r}\left(\frac{1}{3}+\frac{\cos kr}{k^2r^2}-\frac{\sin kr}{k^3r^3}\right)\right],$$

$$(70)\quad k^2\mathcal{F}=\mathrm{S}\left[m\frac{f(r)}{r}\left(-\frac{\sin kr}{kr}-3\frac{\cos kr}{k^2r^2}+3\frac{\sin kr}{k^3r^3}\right)\right].$$

Cela posé, les formules (14) donneront

$$(71)\qquad \mathfrak{L}=\mathfrak{M}=\mathfrak{N}=\mathcal{G},$$

et les formules (15), (18) se réduiront à

$$(72)\qquad \begin{cases}(s^2-\mathcal{G})\,\mathrm{A}=\mathcal{F}u\,(u\mathrm{A}+v\mathrm{B}+w\mathrm{C}),\\ (s^2-\mathcal{G})\,\mathrm{B}=\mathcal{F}v\,(u\mathrm{A}+v\mathrm{B}+w\mathrm{C}),\\ (s^2-\mathcal{G})\,\mathrm{C}=\mathcal{F}w(u\mathrm{A}+v\mathrm{B}+w\mathrm{C}),\end{cases}$$

$$(73)\qquad (s^2-\mathcal{G})^2(s^2-\mathcal{G}-\mathcal{F}k^2)=0.$$

L'équation (73), résolue par rapport à s^2, fournit deux racines égales à $\mathcal{G}$, une seule égale à $\mathcal{G}+\mathcal{F}k^2$. Les deux premières racines correspondent aux deux systèmes d'ondes planes, et de rayons lumineux, qui se réduisent à un seul système dans les milieux doués de la réfraction simple. Comme

on tire d'ailleurs des formules (72) et (73), jointes aux formules (5) et (1), ou

$$s^2 = \mathcal{G} \tag{74}$$

et

$$uA + vB + wC = 0, \tag{75}$$

par conséquent

$$aA + bB + cC = 0, \tag{76}$$

et

$$a\xi + b\eta + c\zeta = 0; \tag{77}$$

ou bien

$$s^2 = \mathcal{G} + gk^2 \tag{78}$$

et

$$\frac{A}{u} = \frac{B}{v} = \frac{C}{w}, \tag{79}$$

par conséquent

$$\frac{A}{a} = \frac{B}{b} = \frac{C}{c}, \tag{79}$$

et

$$\frac{\xi}{a} = \frac{\eta}{b} = \frac{\zeta}{c}; \tag{80}$$

il est clair que, dans un milieu où la lumière se propagera en tous sens suivant les mêmes lois, les vibrations des molécules d'éther seront, en vertu de la formule (77) ou (80), comprises dans les plans des ondes, ou perpendiculaires à ces mêmes plans, suivant qu'il s'agira des ondes de l'une ou de l'autre espèce, c'est-à-dire, des ondes qui correspondront ou de celles qui ne correspondront pas aux rayons lumineux observés.

Au reste, on arriverait aux mêmes conclusions en partant

des formules (56), (58), qui peuvent être substituées aux formules (15) et (18) dans le cas où le milieu réfringent offre trois axes de polarisation parallèles aux axes rectangulaires des x, y, z, et où l'on néglige la dispersion. Car, en supposant que la propagation de la lumière s'effectue en tous sens suivant les mêmes lois, et ayant égard aux conditions (64) ainsi qu'à la formule (3), on tirera des équations (51)

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = R + I, \tag{81}$$

et par suite les formules (56), (58) donneront

$$\begin{cases} (\Omega^2 - R - I)\,A = 2Ra\,(aA + bB + cC), \\ (\Omega^2 - R - I)\,B = 2Rb\,(aA + bB + cC), \\ (\Omega^2 - R - I)\,C = 2Rc\,(aA + bB + cC); \end{cases} \tag{82}$$

$$(\Omega^2 - R - I)^2\,(\Omega^2 - 3R - I) = 0. \tag{83}$$

Or l'équation (83), résolue par rapport à Ω^2, fournira deux racines égales à $R+I$, une seule égale à $3R+I$; et il est aisé de s'assurer qu'en vertu des formules (82) l'équation

$$\Omega^2 = R + I \tag{84}$$

entraînera les formules (76), (77), tandis que l'équation

$$\Omega^2 = 3R + I \tag{85}$$

entraînera les formules (79) et (80).

Lorsque la propagation de la lumière s'effectue en tous sens suivant les mêmes lois, non plus autour d'un point quelconque, mais seulement autour de tout axe parallèle à une droite donnée, alors, en prenant cette droite pour axe de x, on voit les valeurs de $\mathfrak{z}$ et de $\mathfrak{x}$, considérées comme fonctions de u, v, w, se réduire à celles que fournissent les

équations (12), (13) du § 6 du mémoire lithographié, par conséquent à des fonctions des seules quantités u et

$$\nu^2 + \varpi^2 = \iota^2. \tag{86}$$

Alors aussi, en posant, pour abréger

$$\mathcal{G} = \mathfrak{H} + \frac{1}{\iota}\frac{d\mathfrak{K}}{d\iota}, \tag{87}$$

$$\mathfrak{H} = \frac{1}{\iota}\frac{d\left(\frac{1}{\iota}\frac{d\mathfrak{K}}{d\iota}\right)}{d\iota}, \tag{88}$$

$$\mathfrak{v} = \frac{d\left(\frac{1}{\iota}\frac{d\mathfrak{K}}{d\iota}\right)}{du}, \tag{89}$$

on trouve

$$\mathfrak{M} = \mathcal{G} + \mathfrak{H}\nu^2, \quad \mathfrak{N} = \mathcal{G} + \mathfrak{H}\varpi^2, \tag{90}$$

$$\mathfrak{P} = \mathfrak{H}\nu\varpi, \quad \mathfrak{Q} = \mathfrak{v}\varpi, \quad \mathfrak{R} = \mathfrak{v}\nu; \tag{91}$$

$$\mathfrak{L} = \mathcal{L} - \frac{\mathfrak{v}^2}{\mathfrak{H}}, \quad \mathfrak{M} = \mathcal{G}, \quad \mathfrak{N} = \mathcal{G}, \tag{92}$$

et par suite les formules (15) et (18) deviennent

$$\begin{cases} (s^2 - \mathcal{L})\,\mathrm{A} = \mathfrak{v}(\nu\mathrm{B} + \varpi\mathrm{C}); \\ (s^2 - \mathcal{G})\,\mathrm{B} = \nu[\mathfrak{v}\mathrm{A} + \mathfrak{H}(\nu\mathrm{B} + \varpi\mathrm{C})], \\ (s^2 - \mathcal{G})\,\mathrm{C} = \varpi[\mathfrak{v}\mathrm{A} + \mathfrak{H}(\nu\mathrm{B} + \varpi\mathrm{C})]; \end{cases} \tag{93}$$

et

$$(s^2 - \mathcal{G})[(s^2 - \mathcal{L})(s^2 - \mathcal{G} - \mathfrak{H}\iota^2) - \mathfrak{v}^2\iota^2] = 0. \tag{94}$$

Or, comme les deux dernières des formules (93) donnent

$$(s^2 - \mathcal{G})(\mathrm{B}\varpi - \mathrm{C}\nu) = 0, \tag{95}$$

on vérifiera ces formules, soit en posant

(96) $$s^2 = \mathcal{G},$$

et par suite

(97) $$A = 0, \quad B\varrho + C\omega = 0,$$

excepté dans le cas où, la condition

(98) $$(\mathcal{L} - \mathcal{G})\mathcal{S} - \mathfrak{v}^2 = 0$$

étant remplie, les équations (97) devront être remplacées par la seule équation

(99) $$\mathfrak{v}A + \mathcal{S}(\nu B + \omega C) = 0,$$

soit en posant

(100) $$\frac{B}{\nu} = \frac{C}{\omega}$$

et par suite

(101) $$(s^2 - \mathcal{L})(s^2 - \mathcal{G} - \mathcal{S}\iota^2) - \mathfrak{v}^2\iota^2 = 0.$$

On tire d'ailleurs de la formule (100), combinée avec la première des équations (93),

(102) $$\frac{A}{\frac{\mathfrak{v}}{s^2 - \mathcal{L}}(\nu^2 + \omega^2)} = \frac{B}{\nu} = \frac{C}{\omega};$$

puis, des formules (97) et (102), combinées avec les formules (1),

(103) $$\xi = 0, \quad \nu\eta + \omega\zeta = 0,$$

(104) $$\frac{\xi}{\frac{\mathfrak{v}}{s^2 - \mathcal{L}}(\nu^2 + \omega^2)} = \frac{\eta}{\nu} = \frac{\zeta}{\omega}.$$

En vertu des formules (103) et (104), jointes aux formules (5),

les déplacements moléculaires s'exécuteront parallèlement à la droite représentée par les équations

$$x = 0, \quad by + cz = 0, \tag{105}$$

ou parallèlement à la droite représentée par la formule

$$\frac{x}{\frac{\mathfrak{v}}{s^2 - \mathfrak{L}}(b^2 + c^2)} = \frac{y}{b} = \frac{z}{c} \tag{106}$$

suivant que la relation entre s^2 et k se trouvera exprimée par l'équation (96) ou par l'équation (101). Il est d'ailleurs facile de reconnaître que ces deux droites sont perpendiculaires l'une à l'autre, et que la première coïncide avec la trace du plan des y, z sur le plan mené parallèlement au plan d'une onde par l'origine des coordonnées.

Puisqu'en supposant la lumière propagée suivant les mêmes lois en tous sens autour de tout axe parallèle à l'axe des x, on voit les valeurs de s et de k se réduire à des fonctions des seules quantités

$$u \quad \text{et} \quad v^2 + w^2 = \iota^2;$$

on doit avoir alors, dans les formules (46) et (47),

$$\begin{gathered} Gu^2 + Hv^2 + Iw^2 = Gu^2 + H\iota^2 = Gu^2 + H(v^2 + w^2), \\ Lu^6 + Mv^6 + Nw^6 + 6Pu^2v^2 + 6Qw^2u^2 + 6Ru^2v^2 = Lu^6 + 6Qu^2\iota^2 + M\iota^6 \\ = Lu^6 + 6Qu^2(v^2 + w^2) + M(v^6 + 2v^2w^2 + w^6), \end{gathered}$$

quels que soient u, v, w, et par suite

$$H = I, \quad M = N = 3P, \quad Q = R. \tag{107}$$

Les conditions exprimées par ces dernières formules font évidemment partie de celles que donnent les formules (64).

En vertu des formules (107) jointes à la formule (86), les équations (46) et (47) donnent

$$(108)\qquad \mathfrak{z} = Gu^2 + Iv^2 + \text{etc.}$$

$$(109)\qquad \mathfrak{x} = Sm\frac{f(r)}{r^3} + \frac{1}{2}\left[\frac{1}{6}Lu^4 + Ru^2v^2 + \frac{1}{2}Pv^4\right] + \text{etc.},$$

et par suite on tire des formules (87), (88), (89)

$$(110)\qquad \mathfrak{y} = (R + G)u^2 + (P + I)v^2 + \text{etc.}$$

$$(111)\qquad \mathfrak{z} = 2P + \text{etc.}$$

$$(112)\qquad \mathfrak{v} = 2Ru + \text{etc.},$$

tandis que la première des formules (28) donne

$$(113)\qquad \mathfrak{x} = (L + G)u^2 + (R + I)v^2 + \text{etc.}.$$

Les seconds membres de ces dernières équations peuvent être réduits à leurs premiers termes, lorsqu'on néglige la dispersion. On peut donc prendre alors

$$(114)\qquad \mathfrak{y} = (R + G)u^2 + (P + I)(v^2 + w^2),$$

$$(115)\qquad \mathfrak{z} = 2P,$$

$$(116)\qquad \mathfrak{v} = 2Ru,$$

$$(117)\qquad \mathfrak{x} = (L + G)u^2 + (R + I)(v^2 + w^2).$$

Alors aussi des formules (96) et (101), combinées avec les formules (5) et (12), on tire

$$(118)\qquad \Omega^2 = (R + G)a^2 + (P + I)(b^2 + c^2),$$

et

$$(119)\qquad \left\{\begin{array}{c}[\Omega^2-(L+G)a^2-(R+I)(b^2+c^2)][\Omega^2-(R+G)a^2-(2P+R+I)(b^2+c^2)] \\ -4R^2a^2(b^2+c^2)=0.\end{array}\right.$$

Quand on se propose seulement de tirer de l'équation (57) les valeurs approchées des Ω^2 relatives aux deux rayons lumineux observés, on peut remplacer cette équation par une autre plus simple. En effet, quoiqu'il existe un grand nombre de milieux doués de la double réfraction, et dans lesquels la lumière ne se propage pas en tous sens suivant les mêmes lois, par conséquent un grand nombre de milieux dans lesquels les conditions (64) cessent d'être rigoureusement remplies, néanmoins, comme dans ces milieux même la différence entre les vitesses de propagation des deux rayons observés est ordinairement très-petite, il est naturel de penser que les conditions (64) s'y vérifient approximativement, ainsi que les formules (81), et qu'en conséquence les valeurs de Ω^2 relatives aux deux rayons lumineux y diffèrent très-peu de chacune des quantités

$$\mathfrak{A},\quad \mathfrak{B},\quad \mathfrak{C}.$$

Cela posé, les valeurs de Ω relatives aux deux rayons lumineux fourniront généralement de très-petites valeurs des différences

$$\Omega^2-\mathfrak{A},\ \Omega^2-\mathfrak{B},\ \Omega^2-\mathfrak{C}, \tag{120}$$

par conséquent de très-grandes valeurs de chacune des fractions comprises dans le premier membre de l'équation (57). On pourra donc, dans un calcul approximatif, négliger le second membre par rapport aux fractions dont il s'agit, et réduire l'équation (57) à celle-ci

$$\frac{\left(\frac{a}{\mathrm{P}}\right)^2}{\Omega^2-\mathfrak{A}}+\frac{\left(\frac{b}{\mathrm{Q}}\right)^2}{\Omega^2-\mathfrak{B}}+\frac{\left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2}{\Omega^2-\mathfrak{C}}=0, \tag{121}$$

ou même, puisque les quantités P, Q, R, sont peu différentes l'une de l'autre, à la simple formule

$$\frac{a^2}{\Omega^2-\mathfrak{A}}+\frac{b^2}{\Omega^2-\mathfrak{B}}+\frac{c^2}{\Omega^2-\mathfrak{C}}=0. \tag{122}$$

Lorsque, dans cette dernière formule, on fait disparaître les dénominateurs, l'équation que l'on obtient, savoir

$$a^2(\Omega-\mathfrak{B})(\Omega^2-\mathfrak{C})+b^2(\Omega^2-\mathfrak{C})(\Omega^2-\mathfrak{A})+c^2(\Omega-\mathfrak{A})(\Omega-\mathfrak{B})=0, \tag{123}$$

ou

$$\Omega^4-[\mathfrak{A}(b^2+c^2)+\mathfrak{B}(c^2+a^2)+\mathfrak{C}(a^2+b^2)]\Omega^2+\mathfrak{B}\mathfrak{C}a^2+\mathfrak{C}\mathfrak{A}b^2+\mathfrak{A}\mathfrak{B}c^2=0 \tag{124}$$

est par rapport à Ω^2, non plus du troisième degré, mais du second degré seulement, et ses deux racines représentent les carrés des valeurs approchées des vitesses avec lesquelles se propagent les deux rayons lumineux observés dans un milieu doué de la double réfraction. On arriverait encore aux mêmes conclusions en partant de l'équation (58). En effet, si l'on considère comme très-petites du premier ordre les différences qui existent soit entre les trois quantités G, H, I, soit entre les six quantités

$$\mathrm{L}, \mathrm{M}, \mathrm{N}, 3\mathrm{P}, 3\mathrm{Q}, 3\mathrm{R},$$

les différences (120) seront elles-mêmes très-petites du premier ordre, et comme, dans l'équation (58), les termes que renferme le premier membre seront du second ordre, on pourra, vis-à-vis de chacun de ces termes, négliger le dernier membre, qui sera du troisième ordre, et réduire l'équation (58) à

$$\left(\frac{a}{\mathrm{P}}\right)^2(\Omega^2-\mathfrak{B})(\Omega^2-\mathfrak{C})+\left(\frac{b}{\mathrm{Q}}\right)^2(\Omega^2-\mathfrak{C})(\Omega^2-\mathfrak{A})+\left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2(\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{B})=0,$$

ou, ce qui revient au même, à

$$\frac{a^2(\Omega^2-\mathfrak{B})(\Omega^2-\mathfrak{C})+b^2(\Omega^2-\mathfrak{C})(\Omega^2-\mathfrak{A})+c^2(\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{B})}{P^2}$$

$$=b^2\left(\frac{1}{P^2}-\frac{1}{Q^2}\right)(\Omega^2-\mathfrak{C})(\Omega^2-\mathfrak{A})+c^2\left(\frac{1}{P^2}-\frac{1}{R^2}\right)(\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{B})$$

Or, les différences

$$\frac{1}{P^2}-\frac{1}{Q^2},\qquad \frac{1}{P^2}-\frac{1}{R^2},$$

ou

$$\frac{Q+P}{P^2Q^2}(Q-P),\qquad \frac{R+P}{R^2P^2}(R-P)$$

étant évidemment du premier ordre, le second membre de la dernière formule pourra encore être négligé comme étant du second ordre, et par suite cette formule pourra être réduite à l'équation (124).

Concevons maintenant que, dans un milieu réfringent qui offre trois axes de polarisation respectivement parallèles aux axes rectangulaires des x, y, z, le plan d'une onde soit perpendiculaire à l'un de ces axes, par exemple à l'axe des x, on aura

$$a=1,\quad b=0,\quad c=0, \tag{125}$$

et les formules (56), (57), relatives au cas où l'on néglige la dispersion, donneront

$$\begin{cases}(\Omega^2-\mathfrak{A}-2\dfrac{QR}{P}a^2)A=0,\\ (\Omega^2-\mathfrak{B})B=0,\\ (\Omega^2-\mathfrak{C})C=0,\end{cases} \tag{126}$$

$$(\Omega^2-\mathfrak{A}-\frac{2QR}{P}a^2)(\Omega^2-\mathfrak{B})(\Omega^2-\mathfrak{C})=0; \tag{127}$$

ou, ce qui revient au même, eu égard aux formules (51),

$$(128)\qquad \begin{cases} (\Omega^2 - L - G)\,A = 0, \\ (\Omega^2 - R - G)\,B = 0, \\ (\Omega^2 - Q - G)\,C = 0. \end{cases}$$

$$(129)\qquad (\Omega^2 - L - G)(\Omega^2 - R - G)(\Omega^2 - Q - G) = 0.$$

Des trois valeurs de Ω^2 fournies par l'équation (129), savoir,

$$(130)\qquad L + G,\quad R + G,\quad Q + G,$$

la première se réduit à $3R + I$, et les deux dernières à $R + I$, lorsque les conditions (64) sont rigoureusement remplies. Les deux dernières sont donc celles qui se rapportent aux deux rayons lumineux observés, et, en vertu des formules (128), on aura pour ces deux rayons, en supposant les plans des ondes perpendiculaires à l'axe des x, ou

$$(131)\qquad \Omega^2 = R + G,\quad A = 0,\quad C = 0,$$

par conséquent

$$(132)\qquad \xi = 0,\quad \zeta = 0,$$

ou

$$(133)\qquad \Omega^2 = Q + G,\quad A = 0,\quad B = 0,$$

par conséquent

$$(134)\qquad \xi = 0,\quad \eta = 0.$$

Donc, lorsque les plans des ondes sont perpendiculaires à l'axe des x, et parallèles au plan des y, z, les vibrations des molécules sont parallèles à l'axe des y, en vertu des formules (132) et se propagent avec la vitesse $\sqrt{R + G}$, ou bien elles sont, en vertu des formules (134), parallèles à l'axe des z,

et se propagent avec la vitesse $\sqrt{Q+G}$. Par des raisonnements semblables, on prouve généralement que les vitesses de propagation des ondes renfermées dans des plans perpendiculaires aux axes de polarisation pris pour axes des x, y, z, seront respectivement égales aux racines carrées des quantités

$$R+G, \quad Q+G \tag{135}$$

si les plans des ondes sont perpendiculaires à l'axe des x,

$$P+H, \quad R+H, \tag{136}$$

si les plans des ondes sont perpendiculaires à l'axe des y,

$$Q+I, \quad P+I, \tag{137}$$

si les plans des ondes sont perpendiculaires à l'axe des z.

Ajoutons que les vibrations des molécules seront parallèles à l'axe des x, ou à l'axe des y, ou à l'axe des z, suivant qu'il s'agira des ondes, dans lesquelles la vitesse de propagation aura pour carré l'une des quantités

$$Q+I, \quad R+H, \tag{138}$$

ou

$$R+G, \quad P+I, \tag{139}$$

ou

$$P+H, \quad Q+G. \tag{140}$$

Ce que Fresnel appelle le *plan de polarisation* d'un rayon lumineux, c'est le plan perpendiculaire aux droites suivant lesquelles sont dirigées les vibrations des molécules éthérées. Cela posé, comme l'expérience démontre que parmi ces ondes

dont les plans sont perpendiculaires aux axes de polarisation, celles qui répondent à des rayons dont les plans de polarisation sont les mêmes se propagent avec la même vitesse, il est clair qu'il devra y avoir égalité entre les deux expressions (138), ou (139), ou (140). Ainsi

$$G, H, I, P, Q, R$$

devront généralement vérifier les trois conditions

$$(141)\quad Q+I=R+H,\quad R+G=P+I,\quad P+H=Q+G,$$

que l'on peut réduire aux deux équations comprises dans la formule

$$(142)\qquad P-G=Q-H=R-I.$$

Si la propagation de la lumière s'effectue en tous sens, suivant les mêmes lois, autour de tout axe parallèle à l'axe des x, les conditions (141) se réduiront à la seule équation

$$(143)\qquad R+G=P+I,$$

et la vitesse de propagation deviendra indépendante de a, b, c, pour l'un des deux rayons lumineux observés, savoir, pour celui qui correspond aux formules (103), (118), et à des vibrations lumineuses dirigées, dans les plans des ondes, perpendiculairement à l'axe des x. En effet, on tirera de la formule (118), jointe à la condition (143)

$$(144)\qquad \Omega^2=R+G=P+I.$$

Alors le rayon, dont la vitesse de propagation sera indépendante de a, b, c, par conséquent indépendante de la direction du plan de l'onde, et déterminée par la formule (144), se nommera *le rayon ordinaire*. L'autre rayon, correspondant

à des vibrations moléculaires comprises, non plus rigoureusement, mais sensiblement dans les plans des ondes, et perpendiculaires aux vibrations excitées dans le premier, se nommera le rayon extraordinaire.

Revenons maintenant aux formules (141), et désignons par

$$\Omega', \Omega'', \Omega'''$$

les vitesses de propagation des ondes, lorsque les plans des ondes sont parallèles à l'un des deux plans coordonnés qui renferment l'axe des x, s'il s'agit de Ω', l'axe des y, s'il s'agit de Ω'', l'axe des z, s'il s'agit de Ω'''. On aura

$$(145)\quad \begin{cases} \Omega'^2 = Q + I = R + H, \quad \Omega''^2 = R + G = P + I, \\ \Omega'''^2 = P + H = Q + G. \end{cases}$$

Posons en outre

$$(146)\quad \begin{cases} L - 2\frac{QR}{P} + G = \Omega'^2 + \Theta', \quad M - 2\frac{QR}{P} + H = \Omega''^2 + \Theta'', \\ N - 2\frac{PQ}{R} + I = \Omega'''^2 + \Theta'''. \end{cases}$$

Les formules (51) donneront

$$(147)\quad \mathfrak{A} = \Omega'^2 + \Theta' a^2, \quad \mathfrak{B} = \Omega''^2 + \Theta'' b^2, \quad \mathfrak{C} = \Omega'''^2 + \Theta''' c^2.$$

Si d'ailleurs la lumière se propage en tous sens suivant les mêmes lois autour d'un point quelconque, les formules (145), (146), jointes aux conditions (64) donneront

$$(148)\quad \Omega'^2 = \Omega''^2 = \Omega'''^2 = R + I,$$

$$(149)\quad \Theta' = \Theta'' = \Theta''' = 0;$$

et par suite les équations (147) reproduiront la formule (81). Enfin, si la propagation de la lumière s'effectue de la même

manière en tous sens autour de tout axe parallèle à l'axe des x, les formules (145), (146), jointes aux conditions (107), donneront

$$(150)\quad \Omega'^2 = R + I, \qquad (151)\quad \Omega''^2 = \Omega'''^2 = R + G = P + I,$$

$$(152)\quad \Theta' = L - 2\frac{R^2}{P} + G - \Omega'^2, \quad \Theta'' = \Theta''' = 0;$$

par conséquent, les formules (147), se réduiront à

$$(153)\quad \mathfrak{A} = \Omega'^2 + \Theta' a^2, \quad \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = \Omega''^2.$$

En vertu de ces dernières, l'équation (123) deviendra

$$(154)\quad (\Omega^2 - \Omega''^2)\left[\Omega^2 - \Omega''^2 a^2 - (\Omega'^2 + \Theta' a^2)(b^2 + c^2)\right] = 0,$$

et fournira deux valeurs de Ω^2, dont l'une

$$(155)\quad \Omega^2 = \Omega''^2 = R + G = P + I$$

ne différera pas de celle que présente l'équation (144); tandis que l'autre sera

$$(156)\quad \Omega^2 = \Omega''^2 a^2 + (\Omega'^2 + \Theta' a^2)(b^2 + c^2).$$

Les valeurs correspondantes de Ω seront les vitesses de propagation de la lumière dans les rayons ordinaire et extraordinaire. Donc, la vitesse de propagation sera représentée dans le rayon ordinaire par Ω'', et par Ω' dans le rayon extraordinaire, si le plan de l'onde vient à passer l'axe des x, c'est-à-dire, si l'on a

$$(157)\quad a = 0, \quad b^2 + c^2 = 1.$$

Si d'ailleurs on nomme λ l'angle formé par la perpendiculaire au plan d'une onde avec l'axe des x, on aura géné-

ralement

$$a^2 = \cos^2\lambda, \quad b^2 + c^2 = \sin^2\lambda, \tag{158}$$

et par suite la formule (156) pourra s'écrire ainsi

$$\Omega^2 = \Omega''^2 \cos^2\lambda + \Omega'^2 \sin^2\lambda + \Theta' \sin^2\lambda \cos^2\lambda. \tag{159}$$

Telle est l'équation, qui, dans un milieu où la propagation de la lumière s'effectue en tous sens suivant les mêmes lois autour de tout axe parallèle à l'axe des x, devra fournir généralement la vitesse de propagation Ω dans le rayon extraordinaire. Mais, pour s'accorder avec les observations des physiciens, cette formule doit se réduire à

$$\Omega^2 = \Omega''^2 \cos^2\lambda + \Omega'^2 \sin^2\lambda ; \tag{160}$$

c'est-à-dire, que l'on doit avoir

$$\Theta' = 0. \tag{161}$$

Donc les trois conditions exprimées par la formule (149) se vérifient, non-seulement lorsque la lumière se propage en tous sens, suivant les mêmes lois, autour d'un point quelconque ; mais encore lorsqu'elle se propage en tous sens, suivant les mêmes lois, autour d'une droite quelconque parallèle à l'axe des x, ou plus généralement, à l'un des trois axes de polarisation. Il est donc naturel de penser que ces conditions se vérifient toujours, quelle que soit la nature du milieu réfringent. En admettant cette hypothèse, on verra les formules (145), (146) se réduire à

$$\begin{cases} \Omega'^2 = L - 2\dfrac{QR}{P} + G = R + H = Q + I, \\ \Omega''^2 = R + G = M - 2\dfrac{RP}{Q} + H = P + I, \\ \Omega'''^2 = Q + G = P + H = N - 2\dfrac{PQ}{R} + I; \end{cases} \tag{162}$$

par suite, les formules (51) donneront

$$\mathfrak{A}=\Omega'^2,\quad \mathfrak{B}=\Omega''^2,\quad \mathfrak{C}=\Omega'''^2, \tag{163}$$

et l'équation (122) ou (124) deviendra

$$\frac{a^2}{\Omega^2-\Omega'^2}+\frac{b^2}{\Omega^2-\Omega''^2}+\frac{c^2}{\Omega^2-\Omega'''^2}=0, \tag{164}$$

ou

$$\begin{cases}\Omega^4-[\Omega'^2(b^2+c^2)+\Omega''^2(c^2+a^2)+\Omega'''^2(a^2+b^2)]\\ \quad+\Omega''^2\Omega'''^2a^2+\Omega'''^2\Omega'^2b^2+\Omega'^2\Omega''^2c^2=0.\end{cases} \tag{165}$$

L'équation (165) fournit, comme on devait s'y attendre, deux valeurs de Ω, respectivement équivalentes à deux des trois quantités

$$\Omega',\ \Omega'',\ \Omega''',$$

lorsque deux des trois cosinus

$$a,\ b,\ c$$

s'évanouissent, c'est-à-dire, en d'autres termes, lorsque les plans des ondes sont perpendiculaires à l'un des axes de polarisation.

Les formules (162) comprennent les suivantes :

$$\begin{cases}L-2\dfrac{QR}{P}G=R+H=Q+I,\\ R+G=M-2\dfrac{RP}{Q}+H=P+I,\\ Q+G=P+H=N-2\dfrac{PQ}{R}+I;\end{cases} \tag{166}$$

et, comme chacune de ces dernières établit deux relations différentes entre les coefficients

$$G,H,I;\quad L,M,N;\quad P,Q,R;$$

il semble qu'en vertu des formules (162) ces coefficients se trouvent assujettis à six conditions distinctes. Mais ces six conditions se réduisent évidemment à cinq, puisque les trois conditions (141) peuvent être réduites aux deux équations comprises dans la formule (142). D'autre part, en combinant entre elles, par voie de soustraction, d'abord la première et la seconde des formules (166), puis la première et la troisième, on en tirera

$$L - 2\frac{QR}{P} - R = R + \frac{2RP}{Q} - M = Q - P,$$

$$L - 2\frac{QR}{P} - Q = R - P = Q + \frac{2PQ}{R} - N,$$

ou, ce qui revient au même,

$$(167)\quad \begin{cases} L = Q + R + 2\dfrac{QR}{P} - P, & M = R + P + 2\dfrac{RP}{Q} - Q, \\ N = P + Q + 2\dfrac{PQ}{R} - R. \end{cases}$$

Enfin, en considérant les différences

$$Q - P, \quad R - P$$

comme très-petites du premier ordre, et négligeant les quantités du second ordre, on verra l'expression

$$Q + R + 2\frac{QR}{P} - P = 3(Q + R - P) + 2\frac{(Q-P)(R-P)}{P}$$

se réduire à

$$3(Q + R - P),$$

et les formules (167) à

$$(168)\quad L = 3(Q+R-P),\ M = 3(R+P-Q),\ N = 3(P+Q-R),$$

ou, ce qui revient au même, à

$$(169)\qquad M+N=6P,\quad N+L=6Q,\quad L+M=6R.$$

Donc les seules relations établies par les formules (162) entre les coefficients

$$G, H, I, L, M, N, P, Q, R$$

sont les cinq conditions renfermées dans la formule (142) et dans les équations (168) ou (169). D'ailleurs ces dernières équations s'accordent avec les conditions

$$(170)\qquad \begin{cases} (M-P)(N-P)=6P^2, \quad (N-Q)(L-Q)=6Q^2, \\ (L-R)(M-R)=6R^2, \end{cases}$$

obtenues dans les exercices de mathématiques. En effet, la première des conditions (170) peut s'écrire ainsi

$$[2P+(M-3P)][2P+(N-3P)]=4P^2,$$

ou

$$2P[M+N-6P]+(M-3P)(N-3P)=0,$$

et, en négligeant dans le premier membre de la dernière formule le produit

$$(M-3P)(N-3P),$$

qui est une quantité très-petite du second ordre, on retrouve la première des équations (169).

§ II.

Axes optiques.

Nous appellerons ici *axes optiques* les directions que devra prendre la perpendiculaire au plan des ondes, dans un milieu doué de la double réfraction, pour que l'un des deux rayons lumineux observés se réunisse à l'autre. Or, les deux rayons ne peuvent se réunir que dans le cas où leur vitesse de propagation est la même. D'ailleurs, si l'on considère un milieu réfringent qui offre des axes de polarisation respectivement parallèles aux axes coordonnés, et si l'on néglige la dispersion, la vitesse de propagation Ω d'une onde plane se trouvera déterminée par la formule (58) du § I^{er}, qui peut même être réduite, pour chacun des deux rayons lumineux, à l'équation (124) ou (165). Donc, pour déterminer les directions des axes optiques, il suffit de chercher quelles doivent être les valeurs des trois cosinus a, b, c, pour que l'équation (58) ou (124) ou (165) du § I^{er}, étant résolue par rapport à Ω^2, fournisse deux racines égales entre elles.

Remarquons maintenant que l'équation (58) du § I^{er} peut être présentée sous la forme

$$(1) \qquad (\Omega^2 - \mathfrak{A})(\Omega^2 - \mathfrak{B})(\Omega^2 - \mathfrak{C})\, s = 0,$$

la valeur de s étant la suivante

$$(2) \qquad s = \frac{\left(\frac{a}{\mathrm{P}}\right)^2}{\Omega^2 - \mathfrak{A}} + \frac{\left(\frac{b}{\mathrm{Q}}\right)^2}{\Omega^2 - \mathfrak{B}} + \frac{\left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2}{\Omega^2 - \mathfrak{C}} - \frac{1}{2\mathrm{PQR}}.$$

D'autre part, les racines égales de cette équation, dont le premier membre est une fonction entière de Ω^2, doivent vérifier non-seulement l'équation elle-même, mais encore sa dérivée prise par rapport à Ω^2. Enfin, si l'on nomme s' la dérivée de s, prise par rapport à Ω^2; on aura

$$(3)\quad s' = \frac{1}{2\Omega}\frac{ds}{d\Omega} = -\left[\frac{\left(\frac{a}{\mathrm{P}}\right)^2}{(\Omega^2-\mathfrak{A})^2} + \frac{\left(\frac{b}{\mathrm{Q}}\right)^2}{(\Omega^2-\mathfrak{B})^2} + \frac{\left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2}{(\Omega^2-\mathfrak{C})^2}\right],$$

et la dérivée de l'équation (1), prise par rapport à Ω^2, pourra s'écrire comme il suit

$$(4)\quad \begin{aligned}&[(\Omega^2-\mathfrak{B})(\Omega^2-\mathfrak{C}) + (\Omega^2-\mathfrak{C})(\Omega^2-\mathfrak{A}) + (\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{B})]\,s\\ &\quad + (\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{B})(\Omega^2-\mathfrak{C})\,s' = 0.\end{aligned}$$

Donc les valeurs des cosinus

$$a, b, c,$$

correspondantes à un axe optique, devront être telles, qu'on puisse satisfaire par une même valeur de Ω^2 aux équations (1) et (4). Mais il est impossible que les équations (1) et (4) soient vérifiées simultanément, tant que Ω^2 ne devient pas égal à l'une des trois quantités

$$\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}.$$

Car, si Ω^2 diffère de chacune d'elles, l'équation (1) sera réduite à

$$s = 0$$

et par suite la formule (4) donnera

$$s' = 0,$$

ou, ce qui revient au même,

$$(5)\qquad \frac{\left(\frac{a}{\mathrm{P}}\right)^2}{(\Omega^2-\mathfrak{A})^2}+\frac{\left(\frac{b}{\mathrm{Q}}\right)^2}{(\Omega^2-\mathfrak{B})^2}+\frac{\left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2}{(\Omega^2-\mathfrak{C})^2}=0.$$

Or, la formule (5), dont chaque terme est positif, quand il n'est pas nul, entraînerait les trois équations

$$(6)\qquad a=0,\quad b=0,\quad c=0$$

qui ne peuvent subsister simultanément, puisque l'on doit avoir

$$a^2+b^2+c^2=1.$$

Donc, pour que les valeurs de a, b, c correspondent à un axe optique, il faut que la valeur de Ω^2 se réduise à une ou à deux des trois quantités

$$\mathfrak{A},\ \mathfrak{B},\ \mathfrak{C}$$

ou à toutes trois à la fois, et vérifie en conséquence au moins l'une des trois formules

$$(7)\qquad \Omega^2=\mathfrak{A},\quad \Omega^2=\mathfrak{B},\quad \Omega^2=\mathfrak{C},$$

en offrant une racine double de l'équation (1), que l'on peut écrire comme il suit

$$(8)\left(\frac{a}{\mathrm{P}}\right)^2(\Omega^2-\mathfrak{B})(\Omega^2-\mathfrak{C})+\left(\frac{b}{\mathrm{Q}}\right)^2(\Omega^2-\mathfrak{C})(\Omega^2-\mathfrak{A})+\left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2(\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{B})$$
$$=\frac{(\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{B})(\Omega^2-\mathfrak{C})}{2\mathrm{PQR}}.$$

D'ailleurs, lorsqu'on suppose vérifiée une seule des équations (7), par exemple la dernière, l'équation (8), réduite à

$$\left(\frac{c}{\mathrm{R}}\right)^2(\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{B})=0,$$

entraîne la suivante

$$c = 0, \tag{9}$$

c'est-à-dire, une seule des équations (6); et, lorsqu'on suppose vérifiées deux des équations (7), par exemple les deux dernières, l'équation (8), que la condition

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{C} \tag{10}$$

réduit alors à

$$(\Omega^2 - \mathfrak{C})\left\{\left(\frac{a}{P}\right)^2(\Omega^2 - \mathfrak{C}) + \left[\left(\frac{b}{Q}\right)^2 + \left(\frac{c}{R}\right)^2\right](\Omega^2 - \mathfrak{A}) - \frac{(\Omega^2 - \mathfrak{A})(\Omega^2 - \mathfrak{C})}{2PQR}\right\} = 0, \tag{11}$$

ne peut offrir deux racines égales à $\mathfrak{C}$, qu'autant que l'on a

$$\left[\left(\frac{b}{Q}\right)^2 + \left(\frac{c}{R}\right)^2\right](\mathfrak{C} - \mathfrak{A}) = 0 \tag{12}$$

par conséquent

$$b = 0, \quad c = 0, \tag{13}$$

ou

$$\mathfrak{C} - \mathfrak{A} = 0,$$

et par suite

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{B} = \mathfrak{C}. \tag{14}$$

Donc, en définitive, pour que les valeurs de a, b, c correspondent à un axe optique, il faut qu'elles vérifient une ou deux des conditions (6), en sorte que le plan d'une onde soit parallèle à un ou à deux des axes coordonnés, c'est-à-dire, à un ou à deux des axes de polarisation; ou bien qu'elles vérifient les deux équations comprises dans la formule (14).

D'après ce qui a été dit dans le § I^er^, les valeurs de $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ sont respectivement

$$(15)\quad \begin{cases} \mathfrak{A} = (L - 2\dfrac{QR}{P} + G)a^2 + (R + H)b^2 + (Q + I)c^2, \\ \mathfrak{B} = (R + G)a^2 + (M - 2\dfrac{RP}{Q} + H)b^2 + (P + I)c^2, \\ \mathfrak{C} = (Q + G)a^2 + (P + H)b^2 + (N - 2\dfrac{PQ}{R} + I)c^2. \end{cases}$$

Cela posé, les valeurs des rapports

$$\frac{b}{a}, \quad \frac{c}{a}$$

pour lesquelles se vérifieront simultanément les deux équations comprises dans la formule (14), se confondront évidemment avec les valeurs des rapports

$$\frac{y}{x}, \quad \frac{z}{x}$$

pour lesquelles se vérifieront simultanément les trois équations

$$(16)\quad \begin{cases} (L - 2\dfrac{QR}{P} + G)x^2 + (R + H)y^2 + (Q + I)z^2 = 1, \\ (R + G)x^2 + (M - \dfrac{2RP}{Q} + H)y^2 + (P + I)z^2 = 1, \\ (Q + G)x^2 + (P + H)y^2 + (N - 2\dfrac{PQ}{P} + I)z^2 = 1. \end{cases}$$

D'ailleurs les équations (16) représenteront trois ellipsoïdes qui offriront le même centre, qui auront leurs axes dirigés suivant les mêmes droites, et qui pourront 1° se réduire à un seul ellipsoïde, 2° se rencontrer tous les trois suivant certaines courbes, 3° se rencontrer tous les trois suivant deux, quatre ou huit points situés sur une, deux ou quatre droites, savoir,

sur une droite qui coïncide avec l'un des axes coordonnés, ou sur deux droites situées dans l'un des plans coordonnés, ou sur quatre droites dont aucune ne soit renfermée dans l'un des plans coordonnés. Dans ces différents cas, tout rayon vecteur qui joindra l'origine des coordonnées avec un point commun aux trois ellipsoïdes ou à deux d'entre eux, sera dirigé parallèlement à un axe optique du milieu réfringent.

Pour que les trois ellipsoïdes représentés par les équations (16) se réduisent à un seul, il faut que les coefficients de x^2, y^2, z^2, soient les mêmes dans la première, la seconde ou la troisième des équations (16), et que l'on ait en conséquence

$$(17)\qquad \begin{cases} L - 2\dfrac{QR}{P} = R = Q, \\ R = M - 2\dfrac{RP}{Q} = P, \\ Q = P = N - 2\dfrac{PQ}{R}, \end{cases}$$

ou, ce qui revient au même,

$$(18)\qquad P = Q = R, \quad L = M = N = 3P = 3Q = 3R.$$

Dans cette hypothèse on trouve

$$(19)\qquad \mathfrak{A} = \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = R + Ga^2 + Hb^2 + Ic^2,$$

et chacune des formules (7) se réduit à

$$(20)\qquad \Omega^2 = R + Ga^2 + Hb^2 + Ic^2,$$

tandis que les équations (56) du § I^{er} donnent

$$(21)\qquad aA + bB + cC = 0.$$

Alors la direction des axes optiques devient complétement

indéterminée ; en d'autres termes, une droite quelconque devient un axe optique, et quelle que soit la direction du plan de l'onde, les deux rayons lumineux observés se réunissent. Leur vitesse de propagation commune est celle que détermine la formule (20). Pour que cette vitesse devienne indépendante de la direction du plan de l'onde, ou, ce qui revient au même, des cosinus a, b, c, il faut que l'on ait

$$G = H = I. \tag{22}$$

Les formules (18) et (22) ne diffèrent pas des formules (64) du § I^{er}, c'est-à-dire des formules auxquelles nous sommes parvenus, en cherchant les conditions qui expriment que la propagation de la lumière s'effectue en tous sens suivant les mêmes lois autour d'un point quelconque. Quant à l'équation (21), elle exprime que, dans les milieux doués de la réfraction simple, les vibrations lumineuses sont comprises dans le plan de l'onde, par conséquent perpendiculaires à la direction du rayon lumineux.

On n'a point trouvé de milieux qui offrent une infinité d'axes optiques situés sur une même surface courbe. Il est donc inutile de s'arrêter au cas où les trois ellipsoïdes représentés par les équations (16) se rencontreraient en une infinité de points situés sur certaines courbes. Comme on n'a pas trouvé non plus de milieux qui offrent quatre axes optiques, on peut, en admettant que les trois ellipsoïdes offrent seulement quelques points communs, se borner à considérer le cas où ces points sont au nombre de deux, et situés sur l'un des axes coordonnés, ou au nombre de quatre, et situés dans l'un des plans coordonnés. Mais alors on obtiendra ou un seul axe optique pour lequel se vérifieront deux des for-

mules (6), ou deux axes optiques pour chacun desquels se vérifiera une seule de ces formules. En rapprochant ces remarques de ce qui a été dit plus haut, on conclura, en dernière analyse, que tout milieu doué de la double réfraction, et dans lequel les axes de polarisation sont parallèles aux axes coordonnés, offre ou un seul axe optique pour lequel se vérifient deux des formules (6), ou deux axes optiques pour chacun desquels se vérifie une seule de ces formules. Nous allons examiner successivement et en détail ces deux cas spéciaux, que nous présente en effet l'expérience dans les cristaux à un et à deux axes optiques.

Supposons d'abord que le milieu réfringent offre un seul axe optique, pour lequel se vérifient deux des formules (6), par exemple, les formules (13). En combinant l'équation (8) avec les formules (13) et (15), on reproduira l'équation (129) du § I^er^, savoir :

$$(23) \quad (\Omega^2 - L - G)(\Omega^2 - R - G)(\Omega^2 - Q - G) = 0,$$

et cette dernière, résolue par rapport à Ω^2, devra fournir deux racines égales, relatives aux deux rayons lumineux observés. D'ailleurs les valeurs de Ω^2 tirées de l'équation (23), et relatives aux deux rayons lumineux, sont celles qui se réduisent à $R + I$, lorsque, la réfraction étant simple, les conditions (18) et (22) se trouvent remplies; c'est-à-dire, $R + G$ et $Q + G$. On aura donc, dans l'hypothèse admise

$$R + G = Q + G,$$

ou, ce qui revient au même,

$$(24) \qquad R = Q.$$

Ce n'est pas tout; comme, dans les cristaux à un seul axe, la marche des rayons est symétrique autour de cet axe, les

valeurs de Ω^2, relatives aux deux rayons lumineux devront se réduire à des fonctions de a et de $b^2 + c^2$. Or, quand on pose $a = 0$, l'équation (8) se réduit à

$$(25)\quad (\Omega^2 - \mathfrak{A})\left[\left(\frac{b}{Q}\right)^2(\Omega^2 - \mathfrak{C}) + \left(\frac{c}{R}\right)^2(\Omega - \mathfrak{B}) - \frac{(\Omega^2 - \mathfrak{B})(\Omega^2 - \mathfrak{C})}{2PQR}\right] = 0;$$

et, en la résolvant par rapport à Ω^2, on obtient pour l'une des racines relatives aux rayons lumineux

$$(26)\qquad \Omega^2 = \mathfrak{A} = (R + H)b^2 + (Q + I)c^2.$$

D'ailleurs, pour que le second membre de la formule (26) devienne simplement fonction de $b^2 + c^2$, il faut que l'on ait

$$(27)\qquad R + H = Q + I.$$

Enfin, comme il résulte de l'expérience que, dans les cristaux à un seul axe optique, les vibrations moléculaires sont pour l'un des rayons lumineux, savoir, pour le rayon ordinaire, perpendiculaires à cet axe, et comprises dans le plan de l'onde, on aura tout à la fois, pour ce rayon

$$(28)\qquad \xi = 0 \quad \text{et} \quad b\eta + c\zeta = 0,$$

par conséquent

$$(29)\qquad A = 0, \qquad bB + cC = 0;$$

et de ces dernières formules, jointes à la condition (24) et aux équations (56) du § I^{er}, l'on tirera

$$(30)\qquad \Omega^2 - \mathfrak{B} = 0, \quad \Omega^2 - \mathfrak{C} = 0,$$

par conséquent

$$(31)\qquad \Omega^2 = \mathfrak{B} = \mathfrak{C}.$$

En vertu des formules (15), l'équation (31) donnera

$$(32)\qquad \begin{cases}(R+G)a^2+(M-2\dfrac{RP}{Q}+H)b^2+(P+I)c^2\\ =(Q+G)a^2+(P+H)b^2+(N-2\dfrac{PQ}{R}+I);\end{cases}$$

et, comme la formule (32) devra subsister indépendamment des valeurs attribuées aux rapports

$$\frac{b}{a},\ \frac{c}{a}$$

on en conclura

$$R+G=Q+G,\ M-2\frac{RP}{Q}+H=P+H,\ P+I=N-2\frac{PQ}{R}+I,$$

ou, ce qui revient au même,

$$(33)\qquad Q=R,\quad M=N=3P.$$

Les formules (33) et (27) comprennent l'équation (24) avec la suivante

$$(34)\qquad H=I,$$

et s'accordent en conséquence avec les formules (107) du § I^er^, c'est-à-dire, avec les conditions qui expriment que la propagation de la lumière s'effectue en tous sens, suivant les mêmes lois, autour de tout axe parallèle à l'axe des x. Lorsqu'on suppose ces conditions remplies, les formules (15) donnent simplement

$$(35)\qquad \begin{cases}\mathfrak{A}=(L-2\dfrac{R^2}{P}+G)a^2+(R+I)(b^2+c^2),\\ \mathfrak{B}=\mathfrak{C}=(R+G)a^2+(P+I)(b^2+c^2),\end{cases}$$

et l'équation (8) se réduit à

$$(36)\quad (\Omega^2-\mathfrak{C})\left[\frac{a^2}{P^2}(\Omega^2-\mathfrak{C})+\frac{b^2+c^2}{R^2}(\Omega^2-\mathfrak{A})-\frac{(\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{C})}{2PR^2}\right]=0.$$

Or, l'équation (36) se décompose évidemment en deux autres, dont l'une

$$\Omega^2 = \mathfrak{C} \tag{37}$$

se confond avec la formule (31), et se rapporte au rayon ordinaire; tandis que l'autre

$$\frac{a^2}{P^2}(\Omega^2 - \mathfrak{C}) + \frac{b^2+c^2}{R^2}(\Omega^2 - \mathfrak{A}) - \frac{(\Omega^2-\mathfrak{A})(\Omega^2-\mathfrak{C})}{2PR^2} = 0 \tag{38}$$

fournit la valeur de Ω^2 relative au rayon extraordinaire. Comme cette dernière valeur de Ω^2 doit peu différer de $\mathfrak{A}$ et de $\mathfrak{C}$, elle doit correspondre à de très-petites valeurs des différences

$$\Omega^2 - \mathfrak{A}, \quad \Omega^2 - \mathfrak{C}.$$

En considérant ces différences comme très-petites du premier ordre, et négligeant dans le premier membre de l'équation (38) les quantités du second ordre, par conséquent le troisième terme proportionnel au produit de ces mêmes différences, on verra cette équation se réduire à

$$\frac{a^2}{P^2}(\Omega^2 - \mathfrak{C}) + \frac{b^2+c^2}{R^2}(\Omega^2 - \mathfrak{A}) = 0; \tag{39}$$

puis, en multipliant la formule (39) par P^2, et ajoutant au premier membre le produit du second ordre

$$\left(1 - \frac{P^2}{R^2}\right)(b^2+c^2)(\Omega^2 - \mathfrak{A})$$

on trouvera définitivement

$$a^2(\Omega^2 - \mathfrak{C}) + (b^2+c^2)(\Omega^2 - \mathfrak{A}) = 0. \tag{40}$$

L'expérience prouve que, dans les cristaux à un seul axe

optique, la vitesse de propagation de la lumière est, pour le rayon ordinaire, indépendante de la direction du plan de l'onde. Donc alors la valeur de Ω^2 fournie par l'équation (37), savoir :

$$\mathfrak{C} = (R + G)a^2 + (P + I)(b^2 + c^2) = (R + G)a^2 + (P + I)(1 - a^2)$$

ou

$$P + I + (R + G - P - I)a^2$$

doit être indépendante de la direction du plan de l'onde, et rester la même, quelle que soit a ; ce qui entraîne la condition

$$R + G = P + I. \tag{41}$$

Cela posé, en désignant par Ω'' la vitesse de propagation de la lumière dans le rayon ordinaire, on aura

$$\Omega''^2 = R + G = P + I. \tag{42}$$

Si l'on nomme d'ailleurs Ω' la vitesse de propagation de la lumière, dans le rayon extraordinaire, lorsque le plan de l'onde passe par l'axe des x, Ω'^2 sera, en vertu de la formule (40), la valeur de $\mathfrak{A}$ correspondante à

$$a = 0, \quad b^2 + c^2 = 1.$$

On aura donc, eu égard à la première des équations (35),

$$\Omega'^2 = R + I. \tag{43}$$

Cela posé, si l'on fait pour abréger

$$L - 2\frac{R^2}{P} + G = \Omega'^2 + \Theta' \tag{44}$$

les formules (35) et (40) donneront

$$(45)\qquad \begin{cases} \mathfrak{A} = \Omega'^2 + \Theta' a^2, \\ \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = \Omega''^2, \end{cases}$$

$$(46)\quad \Omega^2 = a^2\mathfrak{C} + (b^2 + c^2)\mathfrak{A} = \Omega''^2 a^2 + (\Omega'^2 + \Theta' a^2)(b^2 + c^2).$$

On se trouvera ainsi ramené aux équations (153), (154) du § I^{er}; puis, en désignant par λ l'angle formé par la perpendiculaire au plan d'une onde avec l'axe des x, on obtiendra de nouveau la formule

$$(47)\qquad \Omega^2 = \Omega''^2 \cos^2\lambda + \Omega'^2 \sin^2\lambda + \Theta' \sin^2\lambda \cos^2\lambda,$$

relative au rayon ordinaire, et qui se réduit à

$$(48)\qquad \Omega^2 = \Omega''^2 \cos^2\lambda + \Omega'^2 \sin^2\lambda,$$

lorsque, pour la faire accorder avec les résultats de l'expérience, on suppose

$$(49)\qquad \Theta' = 0.$$

Considérons maintenant un milieu, dans lequel les valeurs de a, b, c, relatives à chacun des axes optiques, vérifient une seule des formules (6); par exemple, la formule

$$(50)\qquad c = 0.$$

Si l'on a égard aux remarques énoncées à la fin du § I^{er}, et si en conséquence on suppose vérifiées les conditions (142) et (169) de ce même paragraphe, on pourra, en négligeant les quantités du même ordre que les carrés des différences

$$Q - P, \quad R - P, \quad \text{etc.}$$

remplacer l'équation (8) par l'équation (165) du § I^{er}, ou, ce

qui revient au même, par la suivante

$$(51)\quad a^2(\Omega^2-\Omega''^2)(\Omega^2-\Omega'''^2)+b^2(\Omega^2-\Omega'''^2)(\Omega^2-\Omega'^2)+c^2(\Omega^2-\Omega'^2)(\Omega^2-\Omega''^2)=0,$$

Ω', Ω'', Ω''' désignant trois quantités qui, prises deux à deux, représenteront les vitesses de propagation des deux espèces d'ondes, dont les plans seront parallèles à l'un des plans coordonnés. D'ailleurs, on tirera de l'équation (51), jointe à la formule (50)

$$(52)\quad (\Omega^2-\Omega'''^2)(\Omega^2-\Omega''^2a^2+\Omega'^2b^2)=0;$$

et, pour que les valeurs de a, b correspondent à un axe optique, il faudra qu'elles rendent égales entre elles les deux valeurs de Ω^2 fournies par l'équation (52), ou, ce qui revient au même, il faudra que l'on ait

$$(53)\quad \Omega'''^2=\Omega''^2a^2+\Omega'^2b^2.$$

Enfin, si l'on nomme Λ l'angle formé par l'axe optique dont il s'agit, avec l'axe des x, l'équation (53) deviendra

$$(54)\quad \Omega''^2\cos^2\Lambda+\Omega'^2\sin^2\Lambda=\Omega'''^2=\Omega'''^2(\cos^2\Lambda+\sin^2\Lambda),$$

et l'on en tirera

$$(55)\quad \frac{\sin^2\Lambda}{\cos^2\Lambda}=\operatorname{tang}^2\Lambda=\frac{\Omega''^2-\Omega'''^2}{\Omega'''^2-\Omega''^2};$$

par conséquent

$$(56)\quad \operatorname{tang}\Lambda=\pm\sqrt{\left[\frac{\Omega''^2-\Omega'''^2}{\Omega'''^2-\Omega'^2}\right]}.$$

Les deux valeurs de tang Λ déterminées par l'équation (56) correspondent évidemment à deux axes optiques, qui seront situés l'un et l'autre dans le plan des x, y, en vertu de la

formule (50), et formeront entre eux des angles divisés en parties égales, soit par l'axe des x, soit par l'axe des y. D'autre part, comme, en vertu de la formule (55), le rapport

$$\frac{\Omega'^2 - \Omega''^2}{\Omega'''^2 - \Omega''^2} \tag{57}$$

devra être positif, les deux axes optiques ne pourront être compris, ainsi qu'on l'a supposé, dans le plan des x, y, qu'autant que la valeur de Ω'''^2 sera moyenne entre les valeurs de Ω'^2, Ω''^2, et par suite la valeur de Ω'' entre celles de Ω', Ω''. Donc, parmi les plans coordonnés, le seul qui pourra renfermer deux axes optiques sera le plan parallèle aux deux systèmes d'ondes planes qui auront pour vitesses de propagation la plus petite et la plus grande des trois quantités

$$\Omega', \Omega'', \Omega'''.$$

Supposons maintenant que les trois cosinus a, b, c correspondent non plus à un axe optique, mais à une autre droite qui forme avec l'axe des x l'angle λ. Si cette droite est comprise dans le plan des x, y, on pourra prendre

$$a = \cos\lambda, \quad b = \sin\lambda, \quad c = 0; \tag{58}$$

et les vitesses de propagation des ondes perpendiculaires à cette même droite auront pour carrés les deux valeurs de Ω^2 fournies par l'équation (52). D'ailleurs, on tirera de cette équation, jointe aux formules (54) et (58),

$$\begin{cases} \Omega^2 = \Omega'''^2 = \Omega''^2 \cos^2\Lambda + \Omega'^2 \sin^2\Lambda, \\ \Omega^2 = \Omega'''^2 \cos^2\lambda + \Omega'^2 \sin^2\lambda; \end{cases} \tag{59}$$

et la droite située dans le plan des x, y de manière à former avec l'axe des x l'angle λ, formera évidemment avec les axes

optiques deux angles μ, ν, qui pourront être censés déterminés par les formules

$$\mu = \lambda - \Lambda, \quad \nu = \lambda + \Lambda. \tag{60}$$

Cela posé, on pourra prendre

$$\lambda = \frac{\mu + \nu}{2}, \qquad \Lambda = \frac{\nu - \mu}{2}, \tag{61}$$

et les équations (59) deviendront

$$\left\{ \begin{aligned} \Omega^2 &= \Omega''^2 \cos^2 \frac{\nu - \mu}{2} + \Omega'^2 \sin^2 \frac{\nu - \mu}{2}, \\ \Omega^2 &= \Omega''^2 \cos^2 \frac{\nu + \mu}{2} + \Omega^2 \sin^2 \frac{\nu + \mu}{2}. \end{aligned} \right. \tag{62}$$

Au reste, il est aisé, comme on va le voir, d'étendre les formules (62) au cas même où la droite perpendiculaire au plan d'une onde, et correspondante aux trois cosinus a, b, c, ne serait pas comprise dans le plan des x, y. En effet, soient, dans tous les cas possibles,

$$\mu \text{ et } \nu$$

les angles formés par cette droite avec les axes optiques. Les cosinus des angles que formeront, avec les demi-axes des coordonnées positives, d'une part la droite en question, d'autre part le premier et le second des axes optiques, seront respectivement

$$\begin{array}{rrr} a, & b, & c \\ \cos\Lambda, & \sin\Lambda, & 0 \\ \cos\Lambda, & -\sin\Lambda, & 0; \end{array}$$

par conséquent, on pourra prendre

$$\cos\mu = a\cos\Lambda + b\sin\Lambda, \quad \cos\nu = a\cos\Lambda - b\sin\Lambda; \tag{63}$$

et l'on en conclura

$$(64)\qquad a\cos\Lambda=\frac{\cos\nu+\cos\mu}{2},\quad b\sin\Lambda=\frac{\cos\nu-\cos\mu}{2}.$$

D'ailleurs, de l'équation (51), jointe à la formule

$$a^2+b^2+c^2=1,$$

on tirera

$$(65)\quad \Omega^4-[\Omega'^2+\Omega''^2+a^2(\Omega'''^2-\Omega'^2)+b^2(\Omega'''^2-\Omega''^2)]\,\Omega^2 + \Omega'^2\Omega''^2+a^2\Omega''^2(\Omega'''^2-\Omega'^2)+b^2\Omega'^2(\Omega'''^2-\Omega''^2)=0;$$

et, comme on tirera de la formule (54)

$$(66)\quad \Omega'''^2-\Omega'^2=(\Omega''^2-\Omega'^2)\cos^2\Lambda,\quad \Omega'''^2-\Omega''^2=(\Omega'^2-\Omega''^2)\sin^2\Lambda;$$

par conséquent, eu égard aux formules (64),

$$(67)\quad \begin{cases} a^2(\Omega'''^2-\Omega'^2)=(\Omega''^2-\Omega'^2)\left(\dfrac{\cos\nu+\cos\mu}{2}\right)^2, \\ b^2(\Omega'''^2-\Omega''^2)=(\Omega'^2-\Omega''^2)\left(\dfrac{\cos\nu-\cos\mu}{2}\right)^2, \end{cases}$$

l'équation (65) pourra être réduite à

$$(68)\quad \Omega^4-[\Omega'^2+\Omega''^2+(\Omega''^2-\Omega'^2)\cos\mu\cos\nu]\,\Omega^2 + \Omega'^2\Omega''^2+(\Omega''-\Omega'^2)\left[\Omega''^2\left(\frac{\cos\nu+\cos\mu}{2}\right)^2-\Omega'^2\left(\frac{\cos\mu-\cos\nu}{2}\right)^2\right]=0.$$

Si, dans l'équation (68) on pose pour abréger

$$(69)\qquad \Omega''^2-\Omega'^2=\mathfrak{D},\quad \Omega''^2+\Omega'^2=\mathfrak{E},$$

et par suite

$$\Omega'^2\Omega''^2=\frac{\mathfrak{E}^2-\mathfrak{D}^2}{4},$$

elle donnera

$$(70)\quad \begin{cases} \Omega^4-(\mathfrak{E}+\mathfrak{D}\cos\mu\cos\nu)\Omega^2+\dfrac{\mathfrak{E}^2+2\mathfrak{E}\mathfrak{D}\cos\mu\cos\nu}{4} \\ \qquad =\dfrac{1}{4}\mathfrak{D}^2(1-\cos^2\mu-\cos^2\nu), \end{cases}$$

puis, en ajoutant aux deux membres de cette dernière formule le produit

$$\frac{\mathfrak{D}^2}{4}\cos^2\mu\cos^2\nu,$$

on trouvera

$$(71)\qquad \left(\Omega^2-\frac{\mathcal{E}+\mathfrak{D}\cos\mu\cos\nu}{2}\right)^2=\left(\frac{\mathfrak{D}\sin\mu\sin\nu}{2}\right)^2,$$

et par suite

$$(72)\qquad \begin{cases} \Omega^2=\dfrac{\mathcal{E}+\mathfrak{D}(\cos\mu\cos\nu\mp\sin\mu\sin\nu)}{2} \\ \quad=\dfrac{\Omega'^2+\Omega''^2}{2}+\dfrac{\Omega''^2-\Omega'^2}{2}\cos(\nu\pm\mu). \end{cases}$$

Or, comme on a généralement

$$\cos(\nu\pm\mu)=\cos^2\left(\frac{\nu\pm\mu}{2}\right)-\sin^2\left(\frac{\nu\pm\mu}{2}\right),$$

il est clair que les deux valeurs de Ω^2, fournies par l'équation (72), seront respectivement

$$(73)\qquad \begin{cases} \Omega^2=\Omega''^2\cos^2\dfrac{\nu-\mu}{2}+\Omega'^2\sin^2\dfrac{\nu-\mu}{2}, \\ \Omega^2=\Omega''^2\cos^2\dfrac{\nu+\mu}{2}+\Omega'^2\sin^2\dfrac{\nu+\mu}{2}. \end{cases}$$

Donc, les carrés des vitesses de propagation, dans un cristal à deux axes optiques, sont, dans tous les cas possibles, exprimés par les valeurs de Ω^2 que présentent les équations (62).

Les conclusions auxquelles nous sommes parvenus dans ce paragraphe, s'accordent avec les formules que Fresnel a données, et par conséquent avec celles auxquelles M. Biot avait été conduit le premier par ses observations. Car on peut aisément passer des unes aux autres, ainsi que Fresnel l'a remarqué lui-même dans son mémoire sur la double réfraction.

§ III.

Surface des ondes.

Comme on l'a déjà remarqué, les valeurs de

$$\xi, \eta, \zeta$$

fournies par les équations (1) du § I^er^, ne varient pas, lorsqu'on y fait croître simultanément t de Δt, et z de $\Omega\Delta t$, la valeur de Ω étant déterminée par l'équation

$$k\Omega = s. \tag{1}$$

On conclut pareillement de ces équations, que les valeurs de ξ, η, ζ correspondantes à

$$r = 0 \tag{2}$$

et $t = 0$, savoir :

$$\xi = A\cos\varpi, \quad \eta = B\cos\varpi, \quad \zeta = C\cos\varpi, \tag{3}$$

ne diffèrent pas de celles qu'on obtient, au bout du temps t, en posant

$$r = \Omega t, \tag{4}$$

la quantité

$$\Omega = \frac{s}{k} \tag{5}$$

désignant la vitesse de propagation d'une onde plane. Donc, l'onde, dont le plan se trouve, à l'origine du mouvement, c'est-à-dire, pour $t = 0$, représenté par la formule (2) ou

$$ax + by + cz = 0, \tag{6}$$

cette onde se transporte dans l'espace, de manière à coïncider au bout du temps t avec le plan représenté par la formule (4), ou, ce qui revient au même, par la suivante

$$ax + by + cz = \Omega t. \tag{7}$$

Dans cette dernière formule, les coefficients a, b, c, c'est-à-dire, les cosinus des angles formés par la perpendiculaire au plan d'une onde avec les deux axes des coordonnées positives, sont liés entre eux par l'équation

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1. \tag{8}$$

D'ailleurs, d'après ce qui a été dit dans le § 2, la vitesse de propagation Ω, déterminée par un calcul approximatif en fonction des trois cosinus a, b, c, sera, pour chacun des rayons observés dans un milieu doublement réfringent, l'une des deux valeurs positives de Ω propres à vérifier la formule

$$\frac{a^2}{\Omega^2 - \Omega'^2} + \frac{b^2}{\Omega^2 - \Omega''^2} + \frac{c^2}{\Omega^2 - \Omega'''^2} = 0 \tag{9}$$

$\Omega', \Omega'', \Omega'''$ désignant les vitesses de propagation respectives d'ondes renfermées dans des plans parallèles à deux axes coordonnés, dont l'un soit l'axe des x, ou des y, ou des z.

Si l'on fait varier les trois cosinus a, b, c, la vitesse Ω, déterminée par la formule (9), variera elle-même, ainsi que la direction du plan représenté par l'équation (2), et ce plan changera de position, de manière à rester tangent à une certaine surface que l'on nomme la *surface des ondes*. Pour obtenir l'équation de cette surface, il faudra, en considérant Ω comme une fonction de a, b, c déterminée par la formule (9), et c lui-même comme une fonction de a, b déterminée par la formule (8), éliminer les cosinus a, b entre la formule (8) et ses deux dérivées prises successivement par

rapport à chacun de ces cosinus. Or, de la formule (7), différentiée par rapport au cosinus a, on tirera, en regardant Ω comme fonction de a, b, c, et c comme fonction de a,

$$x - t\frac{d\Omega}{da} + \left(z - t\frac{d\Omega}{dc}\right)\frac{dc}{da} = 0;$$

puis, en ayant égard à la formule (8) de laquelle on tire $\frac{dc}{da} = -\frac{a}{c}$, on trouvera

$$x - t\frac{d\Omega}{da} = \frac{a}{c}\left(z - t\frac{d\Omega}{da}\right).$$

Pareillement on tirera de la formule (7), différentiée par rapport au cosinus b,

$$y - t\frac{d\Omega}{db} = \frac{b}{c}\left(z - t\frac{d\Omega}{dc}\right).$$

Donc, en définitive, les deux dérivées de l'équation (7), prises successivement par rapport à chacun des cosinus a et b, se trouveront comprises dans la seule formule

$$\frac{x - t\frac{d\Omega}{da}}{a} = \frac{y - t\frac{d\Omega}{db}}{b} = \frac{z - t\frac{d\Omega}{dc}}{c}, \tag{10}$$

à laquelle on parviendrait immédiatement en différentiant par rapport à

$$a, b, c$$

les équations (7), (8), puis éliminant entre les équations différentiées

$$ada + bdb + cdc = 0,$$

$$\left(x - t\frac{d\Omega}{da}\right)da + \left(y - t\frac{d\Omega}{db}\right)db + \left(z - t\frac{d\Omega}{dc}\right)dc = 0,$$

l'une des trois différentielles da, db, dc, et égalant à zéro les coefficients des deux autres différentielles dans l'équation

résultante. Ainsi, pour obtenir l'équation de la surface des ondes, il suffira, en regardant c comme fonction de a et de b, d'éliminer a et b entre les formules (7) et (10); ou bien encore il suffira d'éliminer entre les formules (7), (8) et (10) les trois cosinus

$$a, b, c.$$

Posons maintenant, pour abréger,

$$(11) \qquad \Theta = \frac{a^2}{(\Omega^2 - \Omega'^2)^2} + \frac{b^2}{(\Omega^2 - \Omega''^2)^2} + \frac{c^2}{(\Omega^2 - \Omega'''^2)^2}.$$

Les valeurs de $\frac{d\Omega}{da}$, $\frac{d\Omega}{db}$, $\frac{d\Omega}{dc}$, tirées de l'équation (9), seront celles que donneront les formules

$$\Theta\Omega\frac{d\Omega}{da} = \frac{a}{\Omega^2 - \Omega'^2}, \quad \Theta\Omega\frac{d\Omega}{db} = \frac{b}{\Omega^2 - \Omega''^2}, \quad \Theta\Omega\frac{d\Omega}{dc} = \frac{c}{\Omega^2 - \Omega'''^2}.$$

Donc la formule (10) pourra encore s'écrire comme il suit

$$(12) \qquad \frac{x - \frac{t}{\Theta\Omega}\frac{a}{\Omega^2 - \Omega'^2}}{a} = \frac{y - \frac{t}{\Theta\Omega}\frac{b}{\Omega^2 - \Omega''^2}}{b} = \frac{z - \frac{t}{\Theta\Omega}\frac{c}{\Omega^2 - \Omega'''^2}}{c}.$$

Or les trois fractions que renferme la formule (12), étant égales entre elles, seront encore équivalentes à la nouvelle fraction qu'on obtiendra en multipliant d'une part les trois numérateurs, d'autre part les trois dénominateurs par trois facteurs arbitrairement choisis. Si ces trois facteurs sont respectivement

$$(13) \qquad \frac{a}{\Omega^2 - \Omega'^2}, \qquad \frac{b}{\Omega^2 - \Omega''^2}, \qquad \frac{c}{\Omega^2 - \Omega'''^2}$$

le nouveau dénominateur étant nul, en vertu de l'équation (9), le numérateur devra l'être pareillement; et l'on aura en conséquence, eu égard à la formule (11)

$$(14) \qquad \frac{ax}{\Omega^2 - \Omega'^2} + \frac{by}{\Omega^2 - \Omega''^2} + \frac{cz}{\Omega^2 - \Omega'''^2} = \frac{t}{\Omega}.$$

Si, au lieu des facteurs (13), on emploie les trois cosinus

$$a, b, c,$$

ou bien encore les trois coordonnées

$$x, y, z,$$

les deux nouvelles fractions obtenues se réduiront, en vertu des formules (7), (8), (9) et (14), la première à

$$\Omega t,$$

la seconde à

$$\frac{x^2+y^2+z^2-\frac{t^2}{\Theta\Omega^2}}{\Omega t}.$$

D'ailleurs, ces deux nouvelles fractions devant être égales entre elles, et à chacune de celles que renferme la formule (12), on en conclura d'abord

$$x^2+y^2+z^2-\frac{t^2}{\Theta\Omega^2}=\Omega^2t^2,$$

ou, ce qui revient au même,

$$\frac{t^2}{\Theta\Omega^2}=x^2+y^2+z^2-\Omega^2t^2, \tag{15}$$

puis

$$\frac{x}{a}-\frac{t}{\Theta\Omega}\frac{1}{\Omega^2-\Omega'^2}=\frac{y}{b}-\frac{t}{\Theta\Omega}\frac{1}{\Omega^2-\Omega''^2}=\frac{z}{c}-\frac{t}{\Theta\Omega}\frac{1}{\Omega^2-\Omega'''^2}=\Omega t. \tag{16}$$

On trouvera par suite, eu égard à la formule (15),

$$\frac{x}{a}=\frac{\Omega}{t}\left(t^2+\frac{t^2}{\Theta\Omega^2}\frac{1}{\Omega^2-\Omega'^2}\right)=\frac{\Omega}{t}\left(t^2+\frac{x^2+y^2+z^2-\Omega^2t^2}{\Omega^2-\Omega'^2}\right)$$
$$=\frac{\Omega}{t}\frac{x^2+y^2+z^2-\Omega'^2t^2}{\Omega^2-\Omega'^2},$$

etc...

puis on en conclura

$$(17)\qquad \begin{cases} \dfrac{a}{\Omega^2-\Omega'^2} = \dfrac{t}{\Omega}\dfrac{x}{x^2+y^2+z^2-\Omega'^2t^2}, \\ \dfrac{b}{\Omega^2-\Omega''^2} = \dfrac{t}{\Omega}\dfrac{y}{x^2+y^2+z^2-\Omega''^2t^2}, \\ \dfrac{c}{\Omega^2-\Omega'''^2} = \dfrac{t}{\Omega}\dfrac{z}{x^2+y^2+z^2-\Omega'''^2t^2}. \end{cases}$$

En vertu de ces dernières équations, la formule (14) donnera

$$(18)\qquad \frac{x^2}{x^2+y^2+z^2-\Omega'^2}t^2+\frac{y^2}{x^2+y^2+z^2-\Omega''^2}t^2+\frac{z^2}{x^2+y^2+z^2-\Omega'''^2}t^2=1.$$

L'équation (18) est précisément celle qui représente la surface des ondes. Lorsqu'on y fait disparaître les dénominateurs, le terme

$$(x^2+y^2+z^2)^3,$$

qui est du sixième degré, se trouve écrit dans les deux membres, et, en l'effaçant, on obtient l'équation du quatrième degré, donnée par Fresnel, savoir :

$$(19)\qquad \begin{aligned}&(x^2+y^2+z^2)(\Omega'^2x^2+\Omega''^2y^2+\Omega'''^2z^2)\\ &-[\Omega''^2\Omega'''^2(y^2+z^2)+\Omega'''^2\Omega'^2(z^2+x^2)+\Omega'^2\Omega''^2(x^2+y^2)]t^2\\ &+\Omega'^2\Omega''^2\Omega'''^2t^4=0.\end{aligned}$$

Si l'on coupe la surface des ondes par l'un des plans coordonnés, par exemple, par le plan des x,y, on aura $z=0$, et par suite, on vérifiera l'équation (18) ou (19), soit en prenant

$$(20)\qquad x^2+y^2=\Omega'''^2t^2,$$

afin que le troisième des termes renfermés dans le premier membre de la formule (18), se présente sous la forme $\frac{0}{0}$, soit

en posant

$$\frac{x^2}{x^2+y^2-\Omega'^2t^2}+\frac{y^2}{x^2+y^2-\Omega''^2t^2}=1,$$

ou, ce qui revient au même,

$$\frac{x^2}{\Omega'^2}+\frac{y^2}{\Omega'^2}=t^2. \tag{21}$$

Donc, la surface des ondes, coupée par le plan des x, y, donnera pour sections un cercle dont le rayon sera

$$\Omega'''t,$$

et une ellipse, dont les demi-axes, respectivement parallèles aux axes des x et des y, seront

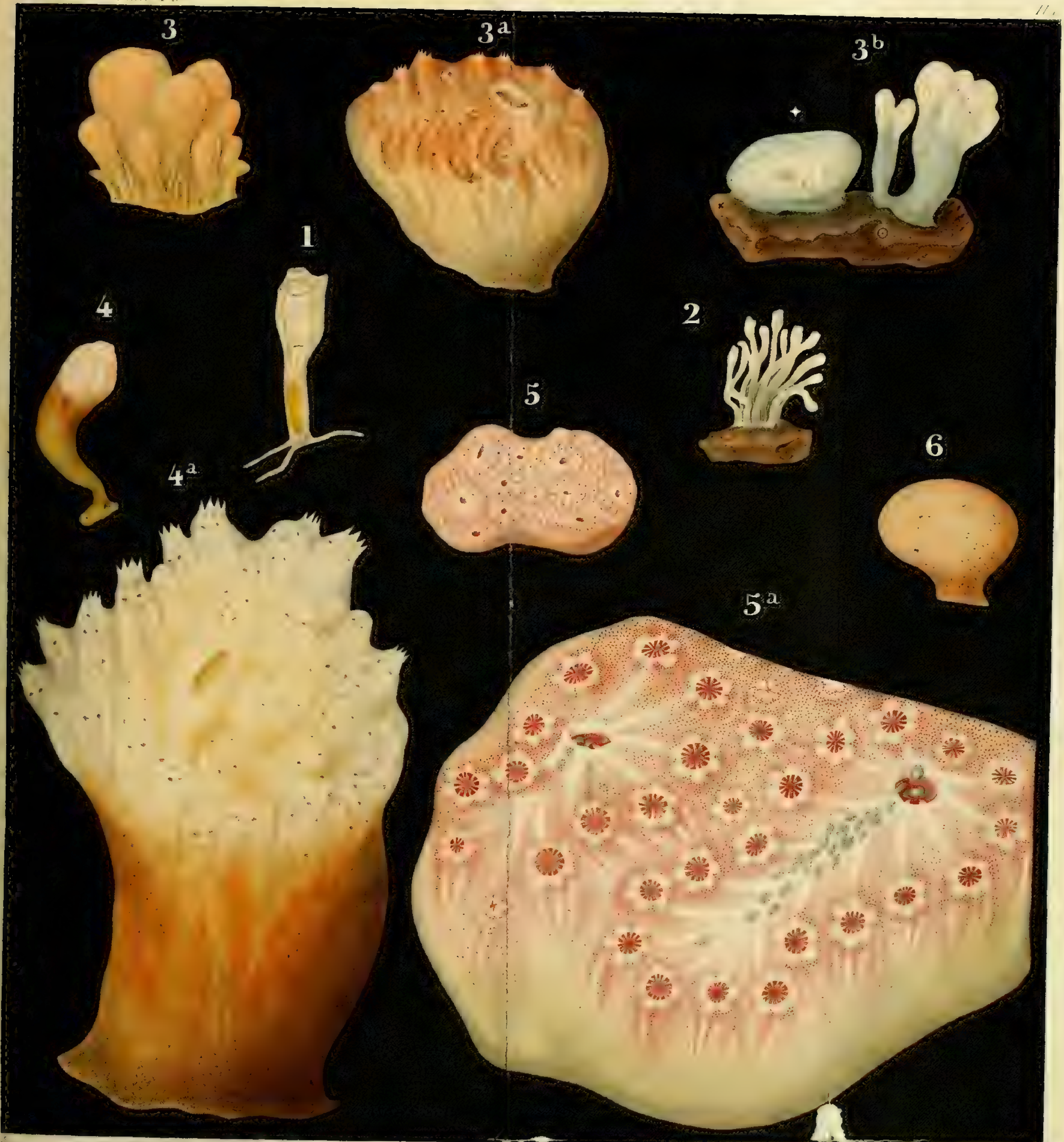
$$\Omega''t \quad \text{et} \quad \Omega't.$$

Donc, les sections faites dans la surface par les trois plans coordonnés, se réduiront, dans chaque plan, à un cercle et à une ellipse, les rayons des trois cercles étant

$$\Omega't, \quad \Omega''t, \quad \Omega'''t,$$

et chaque ellipse, ayant pour demi-axes les rayons des cercles non situés dans son plan.

On a vu avec quelle facilité l'équation de la surface des ondes se déduit de la méthode exposée dans ce paragraphe. J'ignore si cette méthode diffère ou non de celle que M. d'Ettingshausen m'a dit avoir substituée avec avantage à l'analyse dont je m'étais servi pour le même objet dans mes *Exercices de mathématiques*.

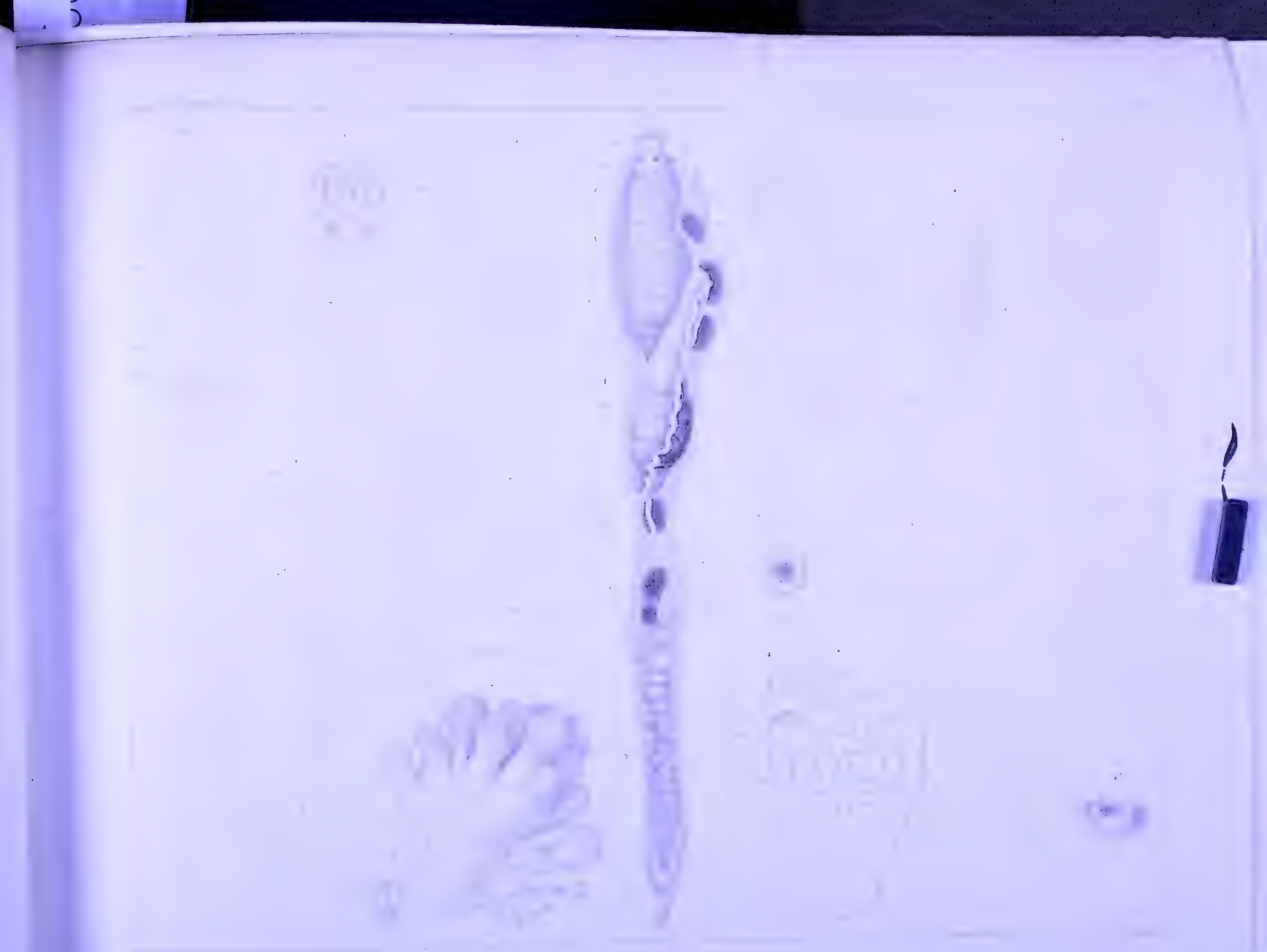


Vesta sc.

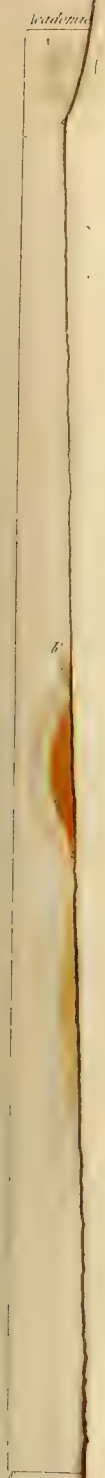
STRUCTURE DES ASCIDIENS.

N. Rémond imp.

STRUCTURE DES ASCIDIENS



STRUCTURE DES ASCIDIENS



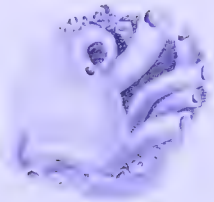
DEVELOPPEMENT DES ASCIDIENS.

Academic

STRUCTURE DES ASCIDIENS

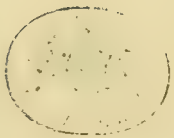
STRUCTURE DES ASCIDIENS

Academie des
A
C
B
F
E



STRUCTURE DES ASCIDIENS

STRUCTURE DES ASCIDIENS



OBSERVATIONS

SUR

LES ASCIDIES COMPOSÉES

DES COTES DE LA MANCHE.

PAR M. MILNE EDWARDS.

Lues à l'Académie des sciences, le 11 novembre 1839.

RIEN n'est plus commun, sur les rochers et sur les fucus de nos côtes, que des corps semi-gélatineux, dont les couleurs sont souvent des plus brillantes et dont la masse renferme une multitude d'animalcules, tantôt épars, tantôt groupés de façon à représenter, avec élégance, des lignes onduleuses, des anneaux ou des étoiles à plusieurs rayons. On en trouve aussi dans presque toutes les mers; et cependant jusqu'en ces dernières années les naturalistes avaient presque entièrement négligé l'étude de ces productions si variées et si bizarres; ils n'en mentionnaient que six ou sept espèces, et les confondaient avec les Alcyons et les Polypes. On peut même dire que l'histoire de ces animaux agrégés restait tout entière à

faire, lorsqu'en 1815 notre respectable et infortuné confrère M. Savigny s'en occupa et la porta de suite à un haut degré de perfection; il fit voir en effet que ces prétendus Polypes, loin d'avoir, comme on le pensait, une organisation des plus simples, présentent une structure très-compliquée, et ne diffèrent guère des Ascidies ordinaires que par leur petitesse presque microscopique et par leur singulière agrégation. Presqu'en même temps les recherches faites sur les Botrylles par MM. Desmarest et Lesueur conduisirent aux mêmes résultats (1). Aussi, dès ce moment, a-t-on désigné ces animaux sous le nom, mieux choisi, d'*Ascidies composées*, et au lieu de les laisser avec les zoophytes les a-t-on rangés parmi les mollusques, ou, mieux encore, dans une division particulière du règne animal, celle des *Tuniciers* de Lamarck. Le travail de M. Savigny (2) est en même temps si approfondi et si minu-

(1) Le premier mémoire de M. Savigny, intitulé : *Observations sur les alcyons gélatineux à six tentacules simples*, a été lu à l'Académie des sciences, le 6 février 1815, et contient l'anatomie des Aplides, des Polyclines, des Didemnes et des Eucœlies.

Le second mémoire de M. Savigny, *Sur les ascidies composées*, a été présenté à l'Académie le 17 avril suivant.

Enfin, les observations de MM. Desmarest et Lesueur furent communiquées à la Société philomatique, le 22 avril 1815, et imprimées dans le *Nouveau bulletin* de cette société (année 1815, page 74), ainsi que dans le *Journal de physique*, tome 80, pag. 424.

Mais ce fut surtout dans le rapport fait à l'Académie sur ces travaux par M. Cuvier, le 8 mai, que les rapports intimes qui existent entre les ascidies composées et les ascidies simples furent signalés à l'attention des naturalistes.

(2) *Mémoires sur les animaux sans vertèbres*, seconde partie, premier fascicule ; in-8°, Paris, 1816.

tieusement exact que je ne puis en parler sans admiration, et si je suis parvenu à ajouter quelques faits nouveaux à ceux qu'il avait si bien constatés, c'est seulement parce que j'ai pu me placer dans des conditions plus favorables à l'observation.

En effet, c'est sur les animaux conservés dans l'alcool que M. Savigny a entrepris ses belles recherches, et cette circonstance explique comment certains organes délicats ont pu échapper à sa patiente investigation; elle devait aussi lui interdire l'examen de la plupart des questions qui se rattachent à la physiologie des Ascidies composées; et c'est seulement en étudiant ces petits êtres à l'état vivant, qu'on pouvait avoir l'espérance de remplir les lacunes qu'il a laissées dans leur histoire.

Voulant me livrer à cette étude j'ai été à diverses reprises m'établir sur les côtes de la Manche où les Ascidies abondent. Mes premières recherches à ce sujet datent de 1828, et je les ai faites de concert avec M. Audouin. Nous avons constaté alors que ces animaux, destinés à vivre fixés au sol comme des plantes, naissent avec des organes de locomotion, nagent pendant un certain temps à l'aide d'une longue queue, puis se fixent à quelque corps sous-marin et demeurent immobiles pendant tout le reste de leur vie (1). Ce fait nous expliquait comment ces animaux qu'on n'avait encore trouvés qu'adhérents à des rochers, à des coquilles ou à des plantes marines, peuvent propager au loin leur race sédentaire; mais le temps nous avait manqué pour en étudier tous les détails, et c'est

(1) *Résumé des recherches sur les animaux sans vertèbres, faites aux îles Chausey;* par MM. Audouin et Milne Edwards. *Annales des sciences naturelles*, tome XV, page 10.

en 1834 seulement que j'ai pu m'en occuper de nouveau. A cette époque, j'ai eu l'honneur de communiquer à l'Académie les résultats de quelques observations ultérieures sur le développement des Ascidies composées, et, dans l'espoir de terminer ce travail, j'y ai consacré la fin de l'été qui vient de s'écouler.

Mon intention était d'abord de m'occuper seulement de l'anatomie et de la physiologie des Ascidies; mais j'ai vu bientôt qu'il fallait aussi les étudier sous le point de vue zoologique, car la plupart des espèces que je rencontrais ne pouvaient se rapporter à aucune de celles dont les naturalistes nous ont donné la description; celles que M. Savigny a si bien fait connaître ont été pour la plupart recueillies en Égypte, et, depuis la publication de l'ouvrage de ce savant, on n'a rien fait paraître sur cette partie de la Faune française. Aussi les espèces nouvelles que j'aurai à caractériser sont-elles assez nombreuses, et, pour faciliter les recherches de ceux qui voudraient compléter la liste des Ascidies de notre littoral, j'ai joint à ce mémoire des figures coloriées de toutes celles dont je parle.

PREMIÈRE PARTIE.

OBSERVATIONS ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES.

§ I.

La CIRCULATION DU SANG chez les Ascidies composées est le

premier point sur lequel j'appellerai l'attention de l'Académie. Les observations de Dicquemare (1), de Cuvier (2), de M. Savigny (3) et de M. Delle Chiaje (4), nous ont appris que les Ascidies simples sont pourvues d'un cœur et d'un appareil vasculaire très-compliqué, mais c'est seulement par analogie avec ce qui se passe chez les mollusques bivalves qu'on a cru pouvoir assigner aux vaisseaux de ces animaux les noms d'artères ou de veines, et indiquer la marche du sang dans leur intérieur. Relativement aux Ascidies composées, nos connaissances sont encore plus imparfaites; M. Savigny a cherché en vain, chez un grand nombre de ces animaux, un organe qui pût être assimilé au cœur des Ascidies simples (5), et le *Diazona* est la seule espèce où il paraît en avoir aperçu des traces (6). Depuis lors, M. J. Lister (7) a observé, chez un Tunicier, qu'on ne peut ranger ni parmi les Ascidies simples, ni parmi les Ascidies composées, une circulation oscillatoire et commune à plusieurs individus; cir-

---

(1) Suite des découvertes de l'abbé Dicquemare. — Sac animal. *Journal de Physique*, année 1777, tome IX, part. I, pag. 137.

(2) *Mémoires pour servir à l'histoire et à l'anatomie des mollusques; mémoire sur les Ascidies.*

(3) Op. cit., troisième mémoire.

(4) *Memorie sulla Storia e notomia degli animali senza vertebre del regno di Napoli*, tome III, pag. 183

(5) Op. cit., pages 32 et 75.

(6) Savigny, op. cit., page 117.

(7) *Philosophical transactions*, 1834, part. II, pag. 365. M. Lister n'avait pas donné de nom à cet Ascidien; mais M. Wiegmann en rendant compte du travail du naturaliste anglais, propose d'en former un genre nouveau, appelé *Perophora*. (Voy. *Wiegmann's archiv.*, 2 B, 1835, p. 309).

culation qui offre beaucoup d'analogie avec celle constatée chez les Biphores, d'abord par Kuhl et Van-Hasselt (1), puis par MM. Quoy et Gaimard (2). Enfin, M. Lister a aperçu aussi un mouvement circulatoire chez une Ascidie composée, qu'il range à tort dans le genre Polyclinium; mais il n'a pu déterminer la marche que le liquide nourricier suit dans le corps de cet animal. On voit par conséquent que la question de la circulation chez les Ascidies composées reste presque tout entière à résoudre.

En étudiant ces petits animaux pendant qu'ils sont encore vivants, il m'a été facile de constater que chez tous il existe un cœur très-développé.

Chez les Ascidies composées de la famille des Polycliniens, cet organe important se trouve relégué à l'extrémité inférieure du post-abdomen (3); il est logé dans un péricarde mince et transparent, et il affecte la forme d'un gros tube contractile, recourbé sur lui-même et rétréci à ses deux extrémités. Chez les Didemniens, le cœur est moins allongé, et au lieu d'être placé sous l'ovaire il est logé avec cet organe à côté de l'anse formée par l'intestin. Il en est à peu près de même chez les Claveliniens (4); enfin, chez les Botrylliens il remonte encore davantage, et se montre auprès de l'estomac, près du fond du sac branchial (5). On remarquera que ces va-

(1) Extrait d'une lettre de Van Hasselt, *Bulletin des sciences naturelles*, de Ferrussac, tome II, page 212.

(2) *Voyage de l'Astrolabe*, partie zoologique, tome III, page 561.

(3) *o*, fig. 1, 2^a, 3 et 4^b. pl. 3.

(4) *o*, fig. 1, 1^d, 2^a et 3; pl. 2.

(5) Pl. 7; fig. 1, *o*.

riations dans la position du cœur coïncident toujours avec des changements analogues dans la place occupée par les ovaires ; il en est encore de même chez les Ascidies simples, et c'est sans des raisons suffisantes que Cuvier a cru pouvoir admettre que, chez ces animaux, c'est la position de la bouche qui détermine celle du cœur. Là où les ovaires sont thoraciques, le cœur l'est également ; là où les ovaires sont logés avec le tube digestif dans un abdomen simple, le cœur est placé aussi à côté de l'intestin dans cette même cavité ; enfin, là où l'ovaire est infère et se trouve dans un post-abdomen, le cœur est également relégué dans cette portion terminale du corps.

Si l'on retire de la masse tégumentaire commune de quelque Polyclinien un individu bien vivant et qu'on le place sous le microscope, dans un peu d'eau de mer, on étudie facilement les mouvements du cœur. On voit alors que ses battements se succèdent avec assez de régularité, mais ne se font pas, comme chez la plupart des animaux, brusquement et dans toute son étendue à la fois ; sa contraction commence à une de ses extrémités, et l'étranglement ainsi produit se propage d'une manière ondulatoire jusqu'à l'extrémité opposée, à peu près comme les mouvements péristaltiques des intestins chez les animaux supérieurs. Pendant quelque temps, ces contractions se suivent assez rapidement et se propagent toutes dans la même direction ; à un certain moment cependant elles s'arrêtent, puis recommencent, mais en sens contraire, de façon que le sang, contenu dans cet organe et circulant dans le reste du corps, se trouve poussé alternativement dans des directions contraires.

Le sang ainsi chassé du cœur, tantôt d'avant en arrière,

tantôt d'arrière en avant, remonte vers le thorax, mais ne paraît pas y être conduit par des vaisseaux ; il se trouve répandu entre la tunique interne de l'abdomen et les viscères logés dans cette cavité, et il y forme des courants dont la position peut varier suivant que les mouvements de l'animal ou toute autre cause mécanique viennent en gêner le passage dans un point déterminé. En général, cependant, la plus grande partie du sang remonte par la face dorsale ou par la face ventrale de l'abdomen, et après avoir baigné ainsi les viscères, il gagne le fond de la cavité branchiale. Lorsque le cœur s'est contracté d'arrière en avant, le courant ascendant s'établit le long de la face antérieure de l'abdomen, et le sang arrive ainsi dans un large canal vertical qui occupe le devant de la cavité respiratoire, et qui pourrait être appelé le *grand sinus thoracique ou ventral* (1). Ce sinus médian donne naissance de chaque côté à une série de gros vaisseaux transversaux qui communiquent entre eux par une multitude de petits canaux verticaux, et qui, après avoir formé de la sorte un réseau vasculaire étendu sur les parois de la cavité respiratoire (2), vont déboucher dans un autre canal vertical parallèle au grand sinus ventral, mais situé du côté opposé du thorax (3). Une portion du sang arrive en même temps dans ce *sinus dorsal* (4), sans avoir traversé le réseau respiratoire, par l'intermédiaire d'un

---

(1) *f*, fig. 1 et 1^{c}, pl. 2 ; fig. 1, 2^{a}, 3^{a} et *c*, pl. 3.

(2) *e*, fig. 1, pl. 2 ; *e*, fig. 1, pl. 3, etc.

(3) *e*, fig. 1, pl. 2, etc.

(4) Je crois nécessaire d'avertir le lecteur qu'ici, de même que chez les polypes, je désigne toujours sous le nom de *dorsal* le côté du corps sur lequel est placée l'ouverture anale.

canal qui naît de l'extrémité supérieure du grand sinus ventral, et entoure comme un anneau la base de la bouche. Enfin, la masse du liquide nourricier se répand entre les viscères et la tunique interne du corps, pour descendre ensuite le long de la face dorsale de l'abdomen et gagner de nouveau le cœur. Si la circulation se faisait toujours de cette manière, elle ressemblerait assez à celle des mollusques proprement dits, et ne différerait que peu de celle que l'on croit généralement exister chez les Ascidies simples; le cœur pourrait alors être comparé à un ventricule aortique, le grand sinus thoracique à une grosse artère branchiale, et le sinus dorsal à une veine branchiale; mais il n'en est pas ainsi, car lorsque le cœur vient à se contracter en sens opposé, c'est-à-dire, d'avant en arrière, la direction de tout le courant circulatoire change; le sang arrive aux branchies par les canaux qui auparavant recevaient ce liquide après son passage dans l'appareil respiratoire, et les vaisseaux qui remplissaient quelques instants avant les fonctions de veines, deviennent des artères.

Ce singulier mode de circulation n'appartient pas exclusivement aux Polycliniens; il a déjà été constaté par M. Lister chez les Pérophores, et il offre la plus grande ressemblance avec celui que l'on connaît chez les *Salpa*. Je l'ai rencontré aussi chez les Botrylliens; et chez les Clavelines, il est encore plus facile à observer. Une espèce de ce dernier genre, longue de près d'un pouce et d'une grande transparence, l'*Ascidia lepadiformis* de Muller (1), me l'a montré d'une manière admirable, et j'en ai rendu témoin M. le professeur Nordmann, qui a passé quelque temps avec moi sur les côtes de la Manche.

(1) *Zoologia Danica*, tome II, pag. 54, pl. 79, fig. 5.

Si l'on conservait quelque doute sur l'existence d'une circulation vague ou extravasculaire dans toute la portion abdominale du corps chez les Polycliniens, cette incertitude cesserait par l'observation de la manière dont le sang se meut chez les Clavelines, surtout chez la Claveline lépadiforme et chez la Claveline naine, espèce nouvelle où l'espace compris entre la tunique interne et les viscères est plus considérable que d'ordinaire (1), et chez laquelle les courants, décelés par le mouvement des petits globules sphériques tenus en suspension dans le liquide nourricier, sont plus visibles.

Quant au mécanisme de cette circulation, il est très-simple. Le cœur est un tube musculaire, élastique et ouvert près de chacune de ses extrémités. Ses contractions annulaires commencent à un bout et se propagent peu à peu vers le bout opposé, de façon à pousser en avant tout le sang dont sa cavité est remplie; à mesure que cet étranglement s'avance de la sorte, les parois de la portion du cœur laissée en arrière, se relâchent, et reprennent leur position primitive à raison de leur élasticité; alors le cœur se remplit de nouveau par l'extrémité où le mouvement péristaltique avait commencé; puis cette même extrémité se contractant une seconde fois, et la contraction se propageant comme la première vers l'extrémité opposée du cœur, pousse une nouvelle ondée de sang dans les canaux en communication avec cette dernière extrémité; bientôt une troisième contraction progressive se manifeste, et l'effet que nous venons d'indiquer se répète; enfin, tant que le mouvement vermiculaire du cœur conserve la même direction, le sang circule dans le sens de ce mouve-

(1) Pl. 2, fig. 2ª.

ment; mais lorsque la contraction péristaltique de cet organe vient à s'établir en sens contraire et commence par l'extrémité où il venait auparavant se terminer, le sang se trouve poussé aussi dans une direction opposée à celle du mouvement dont il était animé; ce liquide s'arrête alors dans les canaux où il coulait avec rapidité, puis il revient sur ses pas, et on voit tout le courant circulatoire se renverser. Ces changements périodiques dans la direction de la circulation ne dépendent donc que d'un changement correspondant dans la direction du mouvement péristaltique du cœur; c'est toujours par le même mécanisme que les courants en sens opposés se produisent alternativement, et on peut remarquer que les choses se passent dans le cœur de nos Ascidies à peu près de la même manière que dans l'œsophage des ruminants, chez lesquels la déglutition ou la régurgitation s'opère suivant que les contractions annulaires de ce conduit charnu se propagent de la bouche vers l'estomac, ou de l'estomac vers la bouche.

D'après les recherches de M. Delle Chiaje, on serait porté à croire que, chez les Ascidies simples, la circulation se fait d'une manière toute différente; car, en injectant du mercure dans l'appareil vasculaire d'un de ces animaux, ce savant a cru y apercevoir des valvules disposées de façon à empêcher le sang de rentrer du vaisseau qu'il nomme artère aorte dans la cavité du cœur, ou de refluer de cet organe dans les conduits par lesquels il y est arrivé (1). Si cet appareil valvulaire existait, le mouvement circulatoire ne pourrait pas se ren-

(1) *Memorie sulla Storia e notomia degli animali senza vertebre del regno di Napoli*, tome III, pag. 195.

verser périodiquement, comme cela a lieu chez les Ascidies composées, et cette particularité établirait entre ces animaux une différence importante. Mais ayant dépouillé de sa tunique externe une des Ascidies simples, les plus communes de nos côtes, l'*Ascidia intestinalis* (1), et ayant placé sous le microscope l'animal ainsi préparé, et encore bien vivant, j'ai pu me convaincre que l'opinion de M. Delle Chiaje n'est pas fondée, et que chez ces Tuniciers, de même que chez les Ascidies composées et les Biphores, le sang, après avoir coulé pendant quelque temps dans un sens, parcourt le même cercle en suivant la direction contraire. Le cœur, qui est très-long et étendu sous le bord ventral de la cavité respiratoire, communique avec le grand sinus thoracique par une fente longitudinale située à peu de distance de son extrémité antérieure, et lorsque les mouvements péristaltiques de cet organe s'établissent d'arrière en avant, la presque totalité du sang contenu dans sa cavité, passe dans ce sinus, pour pénétrer ensuite dans le réseau vasculaire du sac respiratoire, et aller dans le sinus dorsal, d'où il se répand entre les viscères et revient dans l'extrémité postérieure du cœur située près de l'anus; dans ce moment, le cœur remplit par conséquent les fonctions d'un ventricule branchial, et le grand sinus thoracique est une espèce d'artère pulmonaire. Mais lorsque cet état de choses a duré pendant quelques minutes, le mouvement péristaltique du cœur s'intervertit, et le sang, au lieu de traverser le réseau branchial de bas en haut comme auparavant, y circule de haut en bas, et passe du grand sinus thoracique dans le cœur. Ce dernier organe devient alors un

(1) Cuv., op. cit. — *Phallusia intestinalis*, Savigny, op. cit., pag. 169.

ventricule aortique, et le sinus lui-même une sorte de veine branchiale ou d'oreillette aortique. On voit, par conséquent, que l'existence des valvules mentionnées par M. Delle Chiaje est impossible, et que les noms d'artères et de veines, dont on a décoré les divers vaisseaux des Ascidies, ne peuvent nullement y convenir.

(En étudiant à l'état vivant des jeunes *Pyrosomes*, il m'a été facile de me convaincre que chez ces animaux, de même que chez les Biphores et les Ascidiens, le courant circulatoire change périodiquement de direction, et que ce changement dépend de ce que les mouvements péristaltiques du cœur se succèdent alternativement de gauche à droite et de droite à gauche) (1).

Ainsi, ce singulier mode de circulation, si différent de ce qui se voit chez les mollusques proprement dits, paraît appartenir à tout le groupe naturel des *Tuniciers*, et fournit un argument de plus aux zoologistes qui, à l'exemple de Lamarck, veulent exclure ces animaux de la grande division des Mollusques, pour les rapprocher davantage des zoophytes.

§ II.

D'après l'ensemble des faits connus, il était assez difficile de se former une idée précise du mécanisme de la respiration chez les Ascidies. D'après les descriptions que Cuvier et M. Savigny ont données de l'appareil respiratoire de ces ani-

---

(1) Ce passage a été ajouté au moment de l'impression de ce mémoire, et le fait dont il est ici question a été consigné dans les *Comptes rendus de l'Académie*, tome X, page 284; 17 février 1840.

maux, on serait porté à croire que le sac branchial se dilate et se resserre alternativement pour faire entrer et pour expulser tour à tour par la même voie l'eau nécessaire à l'exercice de cette fonction importante (1). Mais lorsqu'on observe ces animaux à l'état vivant, on ne tarde pas à se convaincre que les choses ne se passent pas ainsi ; car, tant que la bouche reste dilatée, le courant qui traverse le sac branchial continue sans interruption, bien que les parois de cette cavité ne soient le siége d'aucune contraction visible. M. Lister a constaté aussi que, dans le singulier Tunicier connu sous le nom de Perophore, l'eau employée pour la respiration s'échappe au dehors par l'ouverture anale, et qu'il existe, sur les parois du sac branchial, une multitude de fentes entourées de cils vibratiles (2). En observant une Ascidie que ce savant rapporte au genre Polycline, mais qui doit indubitablement appartenir à la tribu des Didemniens, il a vu encore quelque chose d'analogue; mais il pense que les fentes dont il vient d'être question traversent de part en part les parois du thorax, et que l'eau qui s'en échappe se répand librement sous une pellicule gélatineuse qui unirait entre eux les animaux rassemblés en une même masse, et qui à son tour laisserait sortir ce liquide par les ouvertures communes éparses à sa surface (3). Mais cette opinion est évidemment inadmissible car les Ascidies composées ne flottent pas librement dans une cavité commune, comme M. Lister le croit, et on sait, à ne pas en douter, que leur thorax est revêtu d'une tunique con-

(1) Voyez Cuvier, op. cit., page 7, et Savigny, op. cit., page 128.
(2) *Philos. trans.*, 1834, page 378.
(3) Lister, op. cit., page 382.

tinue partout, excepté dans les points occupés par la bouche et par l'anus. Il était par conséquent nécessaire d'étudier avec plus de soin les voies respiratoires de ces animaux, et de chercher par quel mécanisme l'eau passe de la bouche jusqu'à l'anus sans traverser le tube digestif.

Une des espèces qui se prêtent le mieux à l'investigation, tant à cause de sa transparence cristalline qu'à raison de sa taille, qui s'élève quelquefois à dix ou douze lignes, est la Claveline lépadiforme (1) dont on trouve des touffes sur presque toutes les parties rocheuses des côtes de la Manche. Chez cet Ascidien, le sac branchial, qu'on peut comparer à une sorte de pharynx énormément dilaté, communique directement au dehors par une grande ouverture qui en occupe le sommet et qui remplit en même temps l'office d'une bouche (2). Cette ouverture est entourée de fibres musculaires disposées en anneaux et faisant les fonctions d'un sphincter (3) : aussi est-elle très-contractile; mais lorsque rien n'irrite l'animal, elle est toujours béante et sa dilatation paraît dépendre en partie, de l'élasticité de son tissu, en partie de la contraction d'un certain nombre de muscles longitudinaux qui s'insèrent autour de sa base et descendent verticalement jusqu'à l'extrémité inférieure du corps (4). L'eau nécessaire à la respiration entre par cet orifice, et la nature prévoyante y a placé un petit appareil destiné à tamiser en quelque sorte ce liquide

---

(1) *Ascidia lepadiformis*, Muller, loc. cit.—*Clavelina lepadiformis*, Savigny, op. cit., pag. 174.

(2) Pl. 1, fig. 1, et pl. 2, fig. 1, *c*.

(3) Pl. 2, fig. 1^a et 1^b.

(4) Pl. 2, fig. 1^a, b'.

et à empêcher l'entrée de corpuscules solides trop gros pour pouvoir pénétrer ensuite dans le tube intestinal ou pour être entraînés au dehors par l'eau expirée. C'est un cercle de tentacules filiformes, qui, fixés à la marge inférieure de l'espèce de bordure membraneuse dont la bouche est entourée, se dirigent verticalement vers l'axe de l'ouverture, et ressemblent aux rayons d'une roue (1); on en compte environ trente, dont une dizaine sont assez longs pour se rencontrer au centre de l'orifice, tandis que les autres, placés entre les premiers sont beaucoup plus courts. Du reste, cette disposition ne se rencontre pas seulement chez les Clavelines : les dissections faites par M. Savigny avaient permis à ce savant de s'assurer de l'existence de filaments tentaculaires à l'entrée du sac branchial chez un grand nombre d'Ascidiens, mais il ne paraît pas avoir connu la manière dont ils fonctionnent (2). M. J. Lister a représenté aussi ces appendices chez les deux espèces d'Ascidiens qu'il a décrits (3), et en étudiant à l'état vivant les Ascidies composées de nos côtes j'ai pu me convaincre que ces tentacules existent avec plus ou moins de développement chez toutes, et constituent comme chez la Claveline lépadiforme une sorte de grille étoilée servant aux mêmes usages (4).

---

(1) Pl. 2, fig. 1 et fig. 1^b.

(2) M. Savigny a représenté ces filaments tentaculaires renversés en haut, comme les tentacules des polypes; disposition qui n'existe jamais pendant la vie, et qui ne permettrait pas à ces organes de servir aux usages dont il est ici question. (Voyez les *Mém. sur les animaux sans vertèbres*, deuxième partie, pl. 14, fig. 15.

(3) *Philos. trans.*, 1834.

(4) Voyez pl. 1, fig. 5^a; pl. 3, fig. 2^b et 3^b; pl. 6, etc.

Le grand sac branchial dans lequel l'eau pénètre de la sorte pour servir à la respiration occupe presque toute la moitié supérieure du corps de la Claveline lépadiforme, et présente de chaque côté douze replis transversaux très-minces qui font saillie dans sa cavité (1), et qui se réunissent en arrière pour donner naissance à autant de languettes membraneuses, lesquelles se tiennent roides comme des épines pendant la vie de l'animal, et semblent être dans une sorte d'érection. Les vaisseaux branchiaux côtoient le bord basilaire de ces replis, et, comme d'ordinaire, communiquent entre eux par une multitude de petits canaux anastomotiques simples, dirigés verticalement (2). Il résulte de cette disposition des espèces de mailles ovalaires, ou plutôt quadrangulaires, placées avec une grande régularité par rangées transversales et occupant toute la surface interne du sac branchial, excepté à l'entour de la bouche et sur la ligne médiane ventrale, où se voit un large sillon vertical séparant deux replis longitudinaux et correspondant au grand sinus thoracique dont il a déjà été question. On compte de chaque côté du thorax treize de ces rangées, et chacune des mailles dont elles se composent est garnie tout autour d'une bordure de cils vibratiles qui se meuvent avec une rapidité extrême, et produisent l'apparence d'une rangée de perles roulant sur elles-mêmes dans un cercle continu; enfin, le fond de ces mêmes mailles vasculaires est occupé par une fente verticale semblable à une boutonnière. C'est par ces espèces de *stigmates* intérieurs que l'eau s'échappe du sac branchial et c'est le mouvement ciliaire dont

(1) *e*, fig. 1, pl. 2,
(2) Pl. 2, fig. 1 et 1*e*.

il vient d'être question qui détermine évidemment sa sortie et qui produit par conséquent une sorte d'appel d'où résulte l'entrée de nouvelles quantités de liquide par l'orifice buccal. L'eau après avoir traversé ces fentes se répand dans une grande cavité comprise entre la face externe du sac branchial et une tunique membraneuse qui enveloppe complétement ce sac et qui en avant vient se fixer de chaque côté du grand sinus thoracique, le long d'une ligne jaune facile à distinguer. Cette tunique membraneuse se réunit aussi au sac branchial autour de ses deux extrémités dans les points occupés par des lignes jaunes horizontales semblables aux deux lignes verticales dont nous venons de parler et elle y adhère en outre latéralement d'espace en espace au moyen de brides membraneuses; mais en arrière cette cavité que j'appellerai la *chambre thoracique*, se prolonge beaucoup plus loin que le sac branchial suspendu dans son intérieur et y forme un gros canal cylindrique (1) dont l'extrémité supérieure communique librement au dehors par l'ouverture anale (2) et dont le fond est occupé par les orifices de l'intestin et des organes de la génération (3). Ce canal dorsal constitue par conséquent un véritable *cloaque*, et comme il communique librement avec les parties latérales de la chambre thoracique où l'eau se répand après avoir traversé les fentes branchiales, c'est par son intermédiaire que ce liquide arrive jusqu'à l'anus et s'écoule au dehors.

Dans les grandes Ascidies simples, dont M. Savigny a formé

---

(1) *h*, fig. 1, pl. 2.

(2) *i*, fig. 1, pl. 2.

(3) *n* et *r'*, fig. 1, pl. 2.

son genre Phallusie, le mécanisme de la respiration n'est pas aussi facile à observer, à cause de l'opacité de l'enveloppe extérieure de ces animaux ; mais on peut, néanmoins, s'assurer qu'il doit être le même chez les Clavelines ; car, si l'on isole avec soin une portion du sac branchial, et qu'on la place sous le microscope, on voit que le fond de chacune des grandes mailles vasculaires est occupé par une petite fente, qui établit la communication entre l'intérieur de ce sac et la chambre thoracique, dont les parois sont formées par l'enveloppe membraneuse désignée par Cuvier sous le nom de tunique interne. La portion dorsale de cette chambre constitue aussi une sorte de cloaque, dont le fond est occupé par les orifices extérieurs des appareils digestif et générateur, et dont le sommet communique directement au dehors par l'ouverture anale (1). Ainsi, la disposition anatomique des parties est essentiellement la même que chez les Clavelines, et, en poussant un liquide coloré dans l'intérieur du sac branchial, on peut s'assurer que sous le rapport physiologique la ressemblance est également complète, car on voit alors cette injection traverser les parois de ce sac, se répandre dans la partie voisine de la chambre thoracique, et arriver jusque dans le cloaque.

Enfin, chez les Polycliniens, les Didemniens et les Botryliens en assez grand nombre, que j'ai eu l'occasion d'étudier sur nos côtes, les fentes branchiales, constamment bordées de cils vibratiles, débouchent aussi dans une cavité thoracique, disposée de la même manière que chez les Clavelines dont j'ai donné ci-dessus la description. Ce sont les mouvements

(1) Voyez à ce sujet les planches de l'anatomie des Ascidies simples, que j'ai données dans la nouvelle édition du *Règne animal*, de Cuvier.

de ces cils qui établissent le courant dans l'intérieur de l'appareil respiratoire, et l'eau, après avoir baigné l'intérieur du sac branchial, s'en échappe et pénètre dans la chambre thoracique, où elle agit de nouveau sur le sang par la surface externe du réseau vasculaire des branchies. Enfin, le liquide parvenu dans le cloaque est expulsé par l'anus et s'écoule directement au dehors ou bien s'échappe par des cavités creusées dans le tissu tégumentaire commun, suivant que ces animaux sont pourvus d'un anus libre, ou se trouvent réunis en groupe autour d'une cavité centrale, au fond de laquelle l'orifice anal de chacun d'eux vient déboucher comme dans un cloaque commun (1).

§ III.

On ne sait que peu de chose sur l'appareil de la génération chez les Ascidies composées. M. Savigny a signalé l'existence d'un ovaire, qui, chez les Polycliniens surtout, est très-développé, et qui, logé dans le post-abdomen, paraîtrait communiquer avec le cloaque à l'aide d'un canal très-long et très-étroit, qu'on voit aboutir dans cette dernière cavité, à côté de l'extrémité de l'intestin. On n'a encore rencontré aucun indice de la présence d'un organe mâle chez ces animaux; et le savant que je viens de citer, pense que leurs œufs se développent sans aucune fécondation préalable (2). Mais nous allons voir que sous ce rapport la structure des Ascidies composées est plus compliquée qu'on ne le supposait.

---

(1) Pl. 1, fig. 4ª, 5ª; pl. 3, fig. 4; pl. 6, 7, 8.

(2) Savigny, op. cit., page 31.

Effectivement, en disséquant sous la loupe un des animaux presque microscopiques dont se composent les masses arrondies d'une nouvelle espèce de Polycliniens, à laquelle je donnerai le nom d'*Amarouque argus* (1), je suis parvenu à constater l'existence d'un testicule très-développé, qui occupe presque toute la partie inférieure du post-abdomen (2), et communique avec le cloaque par le canal filiforme considéré par M. Savigny comme étant un oviducte (3). Cette glande se compose d'une multitude de vésicules blanchâtres, qui, au premier abord, ressemblent beaucoup à des œufs peu développés, et qui paraissent avoir été confondus avec l'ovaire par M. Savigny. Mais pour s'assurer de leur nature, il suffit d'en isoler quelques-unes à l'aide de la pointe d'une aiguille très-fine, et de les écraser entre deux lames de verre; car, si l'animal sur lequel on opère était bien vivant, on voit alors que ces vésicules sont remplies d'un liquide blanchâtre et opaque, qui fourmille d'*animalcules spermatiques*, reconnaissables à leur forme, et surtout aux mouvements dont ils sont agités (4). Ces zoospermes (5) sont d'une petitesse extrême; en avant, leur corps est renflé de manière à simuler une tête lancéolée terminée par un pointe aiguë, et leur extrémité pos-

---

(1) Pl. 1, fig. 4 et 4ᵉ.

(2) *q*, fig. 1, pl. 3.

(3) *r*, fig. 1, pl. 3.

(4) Ces observations ont été faites en automne, et d'après le peu de développement que m'a offert l'appareil générateur des Ascidies au printemps, je suis porté à croire qu'il n'en est pas de même dans toutes les saisons.

(5) Pl. 3, fig. 1ᶜ.

térieure constitue une sorte de queue flexible. Enfin, il est encore à noter que ces animalcules abondent non-seulement dans la glande testiculaire elle-même, mais aussi dans le liquide dont le canal déférent est gorgé : quelquefois je les ai retrouvés jusque dans le cloaque où ce canal va aboutir.

J'ai constaté aussi la présence de cet appareil mâle et de ces zoospermes chez les Polyclines, les Aplides, les Clavelines et plusieurs autres Ascidiens, de sorte que je n'hésite pas à admettre leur existence chez tous les animaux de cette grande famille. Quant à l'ovaire, il est plus ou moins intimement uni au testicule. Chez tous les Polycliniens, il se trouve dans le post-abdomen accolé à cet organe, dont il n'est, en général, que peu distinct vers l'extrémité postérieure du corps; mais vers le tiers supérieur du post-abdomen, il devient plus facile à reconnaître à cause du volume et de la couleur des œufs qui s'y trouvent (1). Ces œufs, dont je m'occuperai bientôt d'une manière spéciale, ne s'y développent qu'en petit nombre à la fois, et passent ensuite dans le cloaque, ou même jusque dans la partie latérale de la chambre thoracique, entre la tunique propre de cette cavité et le sac branchial (2). Ils y séjournent assez longtemps, et s'y trouvent dans les conditions les plus favorables pour éprouver l'influence vivifiante de l'eau aérée; mais il m'a été impossible de découvrir la voie par laquelle ils se rendent de l'ovaire dans cette espèce de poche incubatrice. Il serait possible que le canal déférent de l'appareil mâle servît en même temps d'oviducte, car il paraît adhérer intimement à la portion supérieure de l'ovaire; mais sa ténuité

(1) p et p', fig. 1, 2^a, 3, pl. 3.
(2) p'', fig. 1, 2^a, 3, 3^c, pl. 3.

extrême, par rapport aux œufs, et la densité du liquide séminal dont je l'ai toujours trouvé distendu, me paraissent rendre cette supposition peu probable. J'ajouterai aussi que je n'y ai jamais vu d'œufs engagés, et je suis porté à croire que c'est après s'être détachés de l'ovaire, et après être tombés ainsi dans la cavité abdominale, que ces corps arrivent au cloaque.

Dans la famille des Didemniens, ainsi que M. Savigny l'avait constaté, l'ovaire se trouve appendu au côté de l'anse intestinale, et les œufs qui s'y développent paraissent quelquefois s'échapper au dehors sans traverser le cloaque, et se loger immédiatement dans la substance du tissu tégumentaire commun. Effectivement, en étudiant au microscope de petites plaques du Didemne gélatineux, espèce nouvelle, qui, à raison de la transparence de son tissu tégumentaire, se prête très-bien à ce genre d'observation, j'ai souvent vu un ou deux œufs très-gros faire saillie à la partie inférieure du corps de ces animaux et n'y tenir même que par un pédoncule très-grêle, formé par la tunique interne extrêmement distendue, et devenue facile à rompre (1); enfin, à côté de ces œufs encore adhérents, j'ai trouvé, dans ces mêmes masses gélatineuses, des œufs parfaitement libres de toute adhérence avec les animaux situés auprès, et offrant des degrés très-variés de développement (2). Or, il serait difficile de s'expliquer la présence de ces œufs dans la profondeur du tissu commun, si ce n'est en admettant qu'ils se détachent de l'abdomen des animaux adultes englobés de toutes parts dans ce même tissu.

(1) Pl. 7, fig. 5^a, 5^b, 5^c, 5^d.

(2) Pl. 7, fig. 5^a, p', p''.

Du reste, les faits me manquent encore pour trancher complétement la question, et je crois devoir ne présenter qu'avec réserve l'opinion que je viens d'énoncer.

§ IV.

Ainsi que je l'ai déjà dit au commencement de ce mémoire, nous avons constaté, en 1828, M. Audouin et moi, que les Ascidies composées, au moment de la naissance, sont douées de facultés locomotives assez étendues, et que ces animaux subissent, par les progrès de l'âge, de véritables métamorphoses (1). Ce fait, d'abord révoqué en doute par quelques naturalistes, a été depuis lors vérifié, par M. Saars, sur les Botrylles des côtes de la Norwége. (2), et vient, encore tout récemment, d'être annoncé comme une découverte nouvelle par un naturaliste écossais, sir John Graham-Dalyell (3). Nous avions également fait connaître brièvement, il y a onze ans, les principaux changements de forme que ces espèces de larves subissent après s'être fixées, et M. Dalyell a publié au commencement de cette année des observations analogues; il a même ajouté aux faits déjà connus quelques détails de plus, mais sans les distinguer des découvertes qui

---

(1) *Annales des sciences naturelles*, 1828, tome XV, page 10.

(2) *Beskrivelser og iagttagelser oder nogle mærkelige eller nye i habet bed den Bergenske kyst lebende dyr af polypernes, acalephernes, radiathernes, annelidernes og molluskernes classer.* In-4°, Bergen, 1835.

(3) *A singular mode of propagation among the lower animals, illustrated by sir J. Graham Dalyell. Edinburgh new philosophical journal, january* 1839, vol. 26, pag. 152.

ne lui appartiennent pas, et en s'abstenant toujours de citer ses devanciers; reproche que je ne veux pas mériter à mon tour en omettant de mentionner ici les recherches de ce savant.

D'après les données que la science possédait déjà sur le développement des Ascidies composées, il m'a semblé qu'il y aurait de l'intérêt à étudier, avec plus de soin qu'on ne l'avait encore fait, l'œuf de ces animaux pendant son incubation, et les métamorphoses que leurs larves subissent avant que de parvenir à l'état parfait.

Les œufs des divers Polycliniens que j'ai observés sur les côtes de la Manche, affectent, lorsqu'ils sont encore renfermés dans la masse ovarienne, et que leur développement est peu avancé, la forme d'un ellipsoïde, et se composent d'une membrane extérieure très-mince, d'une masse intérieure subgélatineuse, blanchâtre et grumeleuse; enfin, d'une petite vésicule centrale remplie d'un liquide aqueux et logée au milieu de la substance grumeleuse dont il vient d'être question (1). Or, la détermination de ces parties ne laisse aucune incertitude; la vésicule intérieure est la vésicule de Purkinje, ou vésicule proligère; la substance subgranuleuse qui l'entoure est le vitellus encore imparfait, et la tunique externe est la membrane vitelline.

Pendant que ces œufs sont encore renfermés dans la partie supérieure du post-abdomen, ils grossissent beaucoup et deviennent sphériques. Mais le changement le plus remarquable qu'ils y subissent consiste dans la coloration du vitellus,

(1) Pl. 4, fig. 1.

d'abord en jaune pâle, puis en jaune foncé (1). La vésicule de Purkinje est encore visible au commencement de cette période du développement (2), mais elle disparaît bientôt, et on remarque alors à la surface du vitellus une tache nébuleuse d'un jaune pâle, qui paraît être le blastoderme ou couche proligère destinée à devenir l'embryon de la jeune Ascidie (3).

Les œufs arrivent dans le cloaque et se logent même quelquefois dans les parties latérales de la chambre thoracique, sans avoir subi d'autres modifications appréciables (4), et je suis porté à croire que c'est dans l'intérieur de cette cavité que leur fécondation s'opère; car ils s'y trouvent en contact avec des animalcules spermatiques, et peu de temps après y être parvenus, ils présentent des indices d'un travail intérieur très-actif. On remarque d'abord que les granules, dont la masse vitelline est composée, se pelotonnent pour ainsi dire et donnent à la surface de cette masse une apparence bosselée ou framboisée (5); enfin, il se produit en même temps, entre le jaune et la membrane extérieure de l'œuf, une couche gélatineuse transparente et presque incolore, qu'on serait tenté de prendre pour un albumen, mais qui est une partie plus importante, et qui est destinée à former, comme nous le verrons bientôt, la tunique extérieure du nouvel être.

Lorsque les œufs, logés dans l'espèce de poche incubatrice formée par la chambre thoracique de nos Polycliniens, sont

---

(1) Pl. 3. fig. 1, *p'* et pl. 4, fig. 2 et 3.

(2) Pl. 3, fig. 1, *p* et pl. 4, fig. 2.

(3) Pl. 4, fig. 3.

(4) *p''* fig. 1, pl. 3, etc.

5) Pl. 4, fig. 4.

parvenus à une période un peu plus avancée de leur développement, circonstance qui est souvent facile à reconnaître par le seul fait de leur position relative dans le cloaque, le vitellus perd l'aspect framboisé qu'il avait pris peu de temps auparavant, et, si on l'écrase entre deux lames de verre, on voit qu'il est composé tout entier de petits globules ou granules de grosseurs variées. Bientôt l'œuf s'aplatit un peu, et la substance vitelline paraît se concentrer vers le centre; elle y forme une masse ovoïde d'une couleur jaune foncé, qui est entourée d'une sorte de bordure assez large, d'une teinte plus claire. Cette portion marginale du vitellus se condense à son tour, et alors on commence à apercevoir qu'elle ne constitue pas un anneau, mais un long prolongement conique enroulé autour de la portion centrale du vitellus, et y adhérant par sa base, tandis que sa pointe est libre (1).

Par les progrès de l'incubation, l'œuf grandit, s'aplatit davantage et devient plus ovalaire. La masse vitelline paraît se resserrer; et sa surface, devenue plus dense, semble s'organiser en une membrane distincte de la substance jaune située plus profondément. Les deux portions de cette masse se séparent aussi davantage; celle qui occupe le centre de l'œuf devient ovoïde et bosselée à l'une de ses extrémités; vers l'extrémité opposée, on aperçoit un ou deux petits points noirâtres, et cette dernière extrémité elle-même se continue avec la portion marginale, qui, maintenant, ne simule plus un anneau complet, mais une sorte de prolongement caudal trop court pour entourer complétement la portion centrale dont il s'écarte un peu en avant. Enfin, la substance blanche qui en-

(1) Pl. 4, fig. 5.

toure la masse vitelline, et que je désignerai sous le nom de *corps tégumentaire,* augmente beaucoup d'épaisseur (1).

Lorsque ces œufs approchent davantage de la maturité, la queue du vitellus se raccourcit encore, et la portion centrale ou tronc de l'embryon se resserre de plus en plus. Son extrémité antérieure devient lobulée et se couronne d'une série de cinq prolongements cylindriques, qui s'avancent en divergeant vers le bord de l'œuf; trois de ces appendices se terminent par une sorte de bouton, tandis que les deux prolongements qui séparent ceux-ci entre eux sont amincis vers le bout; de chaque côté de la base de ce petit appareil on aperçoit aussi un petit lobule saillant. Enfin, le côté du tronc opposé à celui contre lequel s'enroule la queue, devient assez fortement bosselé près de sa base, et vers l'endroit où se voient les points noirs déjà signalés (2).

L'œuf prêt à éclore ne paraît différer que très-peu de celui dont je viens de parler. Il est seulement à noter que les deux appendices styliformes de l'extrémité antérieure du tronc de l'embryon ont presque entièrement disparu, et que les trois prolongements terminés en bouton ont acquis plus de développement. On remarque aussi que le tronc s'est contracté davantage vers son extrémité antérieure, et que la matière jaune contenue dans son intérieur s'est beaucoup condensée vers le centre de l'œuf.

La membrane extérieure de l'œuf, devenue excessivement mince, se rompt alors et laisse sortir l'embryon. En général, cette éclosion a lieu dans l'intérieur du cloaque de la mère,

(1) Pl. 4, fig. 6.
(2) Pl. 4, fig. 7.

mais quelquefois elle ne s'opère que lorsque les œufs ont été rejetés au dehors par l'anus. Quoi qu'il en soit, le jeune animal, débarrassé de ses enveloppes, ne tarde pas à étendre sa longue queue, et à nager dans le liquide ambiant à l'aide des mouvements ondulatoires que cet organe exécute. Par sa forme générale (1), il offre alors quelque analogie avec un têtard nouveau-né; mais il ressemble encore davantage à une Cercaire. Le tronc de cette larve de Polyclinien est ovalaire et un peu déprimé. Le tissu blanchâtre que j'ai désigné plus haut sous le nom de *corps tégumentaire*, en occupe toute la surface, et acquiert surtout un grand développement vers les bords; sa substance offre un aspect granuleux et paraît être subgélatineuse; enfin, sa consistance est plus considérable vers sa surface que dans sa profondeur; mais il m'a paru ne pas être revêtu d'une tunique membraneuse proprement dite. Vers le centre du tronc est une grosse poche membraneuse de forme elliptique, que je désignerai dorénavant sous le nom de *tunique interne;* elle est remplie par la matière jaune du vitellus, et se continue en avant avec trois tubes élargis au bout et terminés sur le bord antérieur de l'œuf par une sorte de ventouse; au moyen d'une compression méthodique, on fait passer avec facilité la matière jaune de la poche principale dans ces appendices, ou *vice versâ*, et on peut de la sorte renverser au dehors le fond de la petite capsule qui termine chacun d'eux; on reconnaît encore à leur base des vestiges des autres appendices, qui, à une époque moins avancée du développement, se trouvaient entre ces prolongements et qui ont maintenant presque entièrement disparu.

(1) Pl. 4, fig. 8, et 14.

La matière jaune contenue dans la tunique interne paraît s'être séparée en deux portions; une plus claire, située près des parois de cette poche, et l'autre plus dense et d'une teinte plus foncée qui en occupe le centre. En arrière, on distingue aussi un petit espace marginal plus clair que les parties voisines, et, sur l'un des côtés, on aperçoit encore les points noirs dont il a déjà été fait mention. La queue est très-grande, et se compose, ainsi que le tronc, de deux parties bien distinctes : l'une, superficielle, incolore, transparente, gélatineuse, et ressemblant beaucoup à l'albumen des œufs de grenouille; l'autre, centrale et colorée en jaune. Cette dernière partie se continue antérieurement avec le sac central du tronc, et se compose aussi d'une tunique membraneuse, renfermant une matière jaune, granuleuse et semi-fluide; il m'a semblé y voir en même temps un canal central, mais je n'ai pu m'assurer positivement de cette disposition (1).

Ainsi que nous l'avions déjà constaté, M. Audouin et moi, lors de notre excursion aux îles Chausey, en 1828, ces jeunes Ascidies, encore à l'état de larve, nagent en frétillant, et s'agitent beaucoup pendant les premières heures qui suivent leur naissance; mais bientôt on les voit se reposer contre la surface des corps solides qu'elles rencontrent, et y rester immobiles, à moins que quelque cause accidentelle ne vienne les déranger, car alors elles reprennent leur course et nagent avec vivacité jusqu'à ce qu'elles aient rencontré quelque autre place de repos qui leur convienne. Ce besoin de repos augmente de plus en plus; enfin au bout de quelques heures, ces larves, dont la grosseur ne dépasse pas celle de la tête d'une

(1) Pl. 4, fig. 14.

de nos épingles les plus fines, se fixent à l'aide de l'une des petites ventouses dont leur extrémité antérieure est garnie, et alors elles perdent pour toujours la faculté locomotive.

La larve, devenue ainsi adhérente à quelque corps étranger, ne tarde pas à changer de forme (1). L'extrémité antérieure de son tronc s'élargit, et les prolongements de la tunique interne, qu'on remarquait dans son intérieur, disparaissent promptement; la portion centrale de la queue se vide en même temps, et rentre dans la grande masse de matière jaune qui occupe le centre du tronc. La poche renfermant cette masse ou la tunique interne du tronc se contracte beaucoup, prend une forme sphérique; enfin la matière jaune qui s'y était inégalement répartie, semble s'y brouiller de nouveau. La queue, qui pendant la première période de la vie de ces larves remplissait un rôle si important, puisqu'il était leur unique instrument de locomotion, semble être, dès ce moment, frappée de mort; elle se trouve réduite à sa portion gélatineuse ou tégumentaire, et celle-ci, après être devenue de plus en plus transparente, se flétrit et finit par se détacher ou par tomber en lambeaux à une époque plus ou moins avancée de développement du jeune animal (2).

Le tronc de la petite Ascidie est au contraire le siége d'un travail vital très-actif. La portion tégumentaire de son corps s'élargit beaucoup (3), puis reprend une forme ovalaire (4), et en même temps grandit bien visiblement. La tunique in-

(1) Pl. 4, fig. 9 et 15.
(2) Pl. 4, fig. 10, 11, 12, 13, etc.
(3) Pl. 4, fig. 10 et 16.
(4) Pl. 4, fig. 11 et 17.

térieure continue d'abord à se rapetisser et devient tout à fait sphérique (1); enfin on y remarque plusieurs grandes taches d'une teinte jaune plus claire que le reste, et il est à noter que l'une de ces taches en occupe la partie antérieure, tandis que deux autres se voient à sa partie postérieure.

Les modifications dont il vient d'être question se produisent ordinairement dans l'espace de dix ou douze heures; et si l'on examine de nouveau ces larves vers la fin de la première journée de leur vie sédentaire, on remarque de nouveaux changements dans l'espèce de sac formé par la tunique intérieure: au lieu d'être sphérique, cette grosse vésicule jaune est devenue ovalaire, et sa partie antérieure s'est beaucoup éclaircie (2). Bientôt elle s'allonge encore davantage, et un rétrécissement circulaire la divise en deux parties inégales (3). La portion antérieure, plus petite et moins foncée que la portion postérieure, est arrondie en avant, et présente dans cette région une grande tache annulaire d'un jaune foncé, circonscrivant vaguement une partie centrale plus pâle. La portion postérieure est plus renflée et d'une teinte jaune beaucoup plus intense que la portion antérieure; enfin, on y aperçoit tout à fait en arrière une petite tache d'un jaune très-clair; et afin de fixer l'attention sur ces particularités qu'on pourrait croire d'un faible intérêt, je devancerai ici l'ordre chronologique des observations, pour dire que cette dernière tache (4) va devenir bientôt le *cœur*, tandis que la portion antérieure

(1) Pl. 4, fig. 10 et 16.
(2) Pl. 4, fig. 17.
(3) Pl. 4, fig. 11.
(4) *d*, fig. 11.

de la tunique interne, plus claire que le reste (1), sera par la suite le *thorax* du jeune animal.

Le lendemain, toutes ces parties commencent à se mieux dessiner (2). La portion antérieure de la tunique interne ou le thorax, qui était plus petite que la portion postérieure ou abdominale, grandit beaucoup (3); elle devient aussi beaucoup plus transparente, et la partie occupée par la tache blanchâtre antérieure commence à s'élever en forme de mamelon, et à marquer ainsi la place où se trouvera plus tard la *bouche* de l'animal; le cercle obscur qui entourait la base de cette région buccale est remplacé maintenant par une bande jaune très-étroite, et on distingue aussi sur la portion inférieure de cette portion thoracique du corps deux stries jaunes qui la partagent verticalement en trois lobes à peu près égaux. Enfin la portion abdominale de la tunique interne s'est au contraire beaucoup rétrécie; la tache péricardiale est devenue beaucoup plus distincte, et une autre tache moins bien limitée et située plus en avant m'a paru être un premier vestige de l'estomac.

Vers le milieu de cette seconde journée, j'ai trouvé le lobe médian du thorax beaucoup élargi, et, dans certaines positions de l'animal, j'ai pu distinguer qu'il était formé par une nouvelle poche intérieure assez bien limitée, et de forme cylindrique, qui, en avant, vient se confondre avec la paroi antérieure du thorax dans le point occupé par l'anneau jaune dont il a été déjà question, tandis que latéralement elle est sé-

(1) *c*, fig. 11, pl. 4.
(2) Pl. 4, fig. 18.
(3) Pl. 4, fig. 12.

parée de la tunique interne par des espaces correspondant aux lobes latéraux mentionnés dans le paragraphe précédent (1). L'un de ces derniers lobes se rétrécit extrêmement, et paraît destiné à constituer le grand sinus vasculaire qui par la suite doit longer la face antérieure du thorax; l'autre lobe latéral correspond au cloaque; enfin, le lobe médian n'est lui-même autre chose que le sac branchial au fond duquel naîtra le tube digestif.

En examinant de nouveau ces larves quelques heures plus tard, j'ai trouvé le mamelon antérieur bien plus saillant, et il m'a paru être contractile. J'ai pu distinguer aussi dans l'abdomen la place occupée par l'estomac, ainsi que le trajet suivi par l'intestin (2). Enfin, la matière jaune avait alors disparu en grande partie; mais il s'en trouvait encore une quantité assez considérable dans le tube digestif, et toutes les parties intérieures du jeune animal en paraissaient comme imprégnées.

Vers la fin de la seconde journée, je distinguai très-bien, au sommet du thorax, la bouche, dont les bords commençaient à se festonner; mais cette ouverture n'occupait que la tunique interne, et la substance tégumentaire se continuait sans interruption au-devant d'elle (3); le tubercule qui est situé entre la bouche et l'anus, et qui paraît être un ganglion nerveux, se voyait aussi; et le cercle jaune qui entourait le sommet du thorax était devenu le bord supérieur du sac branchial; toute la portion thoracique du corps se contrac-

(1) Pl. 4, fig. 19.
(2) Pl. 4, fig. 13.
(3) Pl. 4, fig. 20, 21, 22, 23.

tait de temps en temps au point de changer de forme; enfin, l'anus commençait à devenir visible.

Le troisième jour de cette espèce de métamorphose de la larve en une Ascidie parfaite, je vis battre le cœur, et je distinguai très-bien des boulettes de matières fécales dans l'intestin (1). Le lendemain, la bouche était devenue béante à l'extérieur, et l'eau pénétrait par cette voie dans le sac branchial (2). Vers la même époque, la tunique tégumentaire se perfora aussi pour constituer l'anus, et j'en vis sortir les boulettes de matières fécales, provenant sans doute de la digestion des matières nutritives fournies par la masse vitelline.

Les jours suivants, la croissance du jeune animal fut plus rapide; tous ses organes devinrent plus visibles, et bientôt je pus même distinguer, dans l'intérieur du sac respiratoire, les fentes branchiales disposées par rangées transversales, et les mouvements vibratiles des cils dont ces ouvertures sont entourées (3); mais le nombre de ces rangées de stigmates branchiaux n'était encore que de quatre, tandis qu'à l'âge adulte on en compte dix.

A cette époque de son développement, la jeune Ascidie était déjà pourvue de tous ses organes, si ce n'est de l'appareil de la génération, dont on ne voyait aucune trace et dont la place même était occupée par d'autres organes, car le cœur était encore en contact presque immédiat avec l'anse formée par le tube intestinal. La conformation générale du corps n'était cependant pas ce qu'elle devait être par la suite,

(1) Pl. 5, fig. 8 et 9.
(2) *c*, fig. 13, pl. 4 et fig. 12, pl. 5.
(3) Pl. 4, fig. 25, 26.

et le jeune animal ressemblait beaucoup plus à une Ascidie de la famille des Didemniens qu'à un Polyclinien, car il n'avait pas encore de post-abdomen, et l'anse intestinale était reployée contre l'extrémité inférieure du thorax. Enfin, pendant les jours suivants, l'abdomen s'allongea beaucoup, et vers la fin de la seconde semaine je trouvai, entre le cœur et l'intestin, une masse granuleuse qui, par son aspect et sa position, était facile à reconnaître comme étant l'appareil générateur (1).

Jusqu'ici je n'ai guère parlé que du développement des parties intérieures du jeune animal, et je n'ai presque rien dit de sa tunique tégumentaire. Celle-ci, destinée à devenir la partie commune à toute la colonie dont s'entourera par la suite notre Ascidie, maintenant solitaire, est, dans le principe, la couche gélatineuse qui, dans l'œuf, revêt en dehors la masse vitelline (2), et qui un peu plus tard donne au tronc de la larve sa forme ovalaire (3). La membrane qui entoure immédiatement la matière jaune et qui doit être considérée comme un blastoderme, devient la tunique interne de la jeune Ascidie; et lorsque la larve subit ses premières métamorphoses, il ne paraît exister aucune connexion organique entre ces deux tuniques. Effectivement, à une certaine époque, on voit souvent la tunique interne, avec tout ce qu'elle renferme, c'est-à-dire, l'animal tout entier, à l'exception de sa peau extérieure, se renverser complétement dans la cavité de la tunique tégumentaire, et quelquefois

(1) Pl. 5, fig. 15.
(2) Pl. 4, fig. 4, 5, 6, 7.
(3) Pl. 4, fig. 8 et 14.

elle fait même pour ainsi dire hernie au dehors de cette cavité, en abandonnant sa place primitive et en distendant une petite portion du tissu tégumentaire, au point de doubler l'étendue de cette tunique extérieure (1). Il ne faut pas croire cependant que la substance semi-gélatineuse dont cette couche tégumentaire est formée, soit un simple dépôt produit de quelque sécrétion, ou une partie organisée qui aurait cessé de vivre en cessant de tenir aux parties intérieures de l'animal, car elle continue à croître et donne des signes irrécusables de vitalité. Ainsi, non-seulement sa masse augmente rapidement, mais on en voit naître des expansions lobulaires qui changent fréquemment de forme, se contractant ou se dilatant avec une lenteur extrême, et paraissant avoir quelque analogie avec les expansions protéiformes des Amibes et de divers animaux inférieurs. L'inspection des trois séries de figures réunies dans les planches 4 et 5, et représentant les mêmes larves observées de quatre heures en quatre heures, fera apprécier l'étendue de ces changements de forme mieux qu'une longue description, et lèvera, je crois, toute espèce de doute sur la vitalité de cette partie, qui est évidemment l'analogue du polypier chez les polypes. C'est seulement lorsque la bouche et l'anus s'ouvrent au dehors, que l'adhérence s'établit entre ce tissu tégumentaire et la tunique interne de l'animal; et alors, de même que pendant le reste de la vie, c'est seulement autour de ces deux orifices que la continuité organique existe entre ces deux parties dont l'une seulement est en relation directe avec les organes de la vie animale. Il est par conséquent probable que la nutrition ne se fait jamais

(1) Pl. 5, fig. 4, 5, 6, 7.

dans l'enveloppe tégumentaire que par imbibition ; et, quo qu'il en soit, c'est un fait qui me semble digne de l'intérêt des physiologistes, que cette indépendance de deux portions du corps des Ascidies durant les premières périodes de leuri métamorphoses ; chacune de ces parties vivant et se développant à sa manière pour se réunir ensuite et continuer un seul tout. Ce mode de vitalité de la tunique tégumentaire des jeunes Ascidies offrira probablement de l'analogie avec ce qui se passe chez les Éponges, et jettera peut-être quelque lumière sur le genre d'existence de la portion basilaire des Sertulariens et des autres Polypes qui continuent à vivre pendant longtemps après la chute ou la destruction des parties mobiles considérées généralement, mais à tort, comme constituant l'animal tout entier. Du reste, ce n'est pas ici le lieu de discuter ces questions, et dans ce moment leur examen serait peut-être prématuré.

Les observations que j'ai recueillies sur le développement des œufs et des larves chez quelques autres espèces de Polycliniens, chez les Didemniens et chez les Clavelines, m'ont fait voir que chez tous ces animaux les choses se passent à peu près de la même manière ; il me paraît, par conséquent, inutile de présenter ici des descriptions qui seraient pour ainsi dire la répétition de ce que je viens d'exposer, et j'ajouterai seulement que la forme des larves varie un peu et que leurs métamorphoses ne s'effectuent pas toujours avec la même rapidité. Ainsi, les larves de la Claveline grêle, par exemple, ont la tunique interne fortement bosselée en avant, très-renflée en arrière, et dépourvue des prolongements en patte d'oie qui sont remarquables chez les Polycliniens (1). Chez

(1) Pl. 2, fig. 3^a, 3^b.

les Didemniens ces appendices existent, mais sont très-courts, et près de leur base se trouve une rangée de lobules pyriformes qu'on pourrait prendre facilement pour les germes d'autant de jeunes, mais qui appartiennent tous à un seul individu. Enfin, c'est surtout chez les jeunes de l'Amarouque de Nordmann que le développement des lobes protéiformes de la tunique tégumentaire m'a paru remarquable.

Les Ascidies dont nous venons d'étudier le développement sont solitaires dans le jeune âge; plus tard on les trouve réunies par colonies nombreuses, tantôt sur une tige rampante, tantôt dans une masse compacte formée par un tissu tégumentaire commun à tous les individus ainsi associés, et en général ces derniers sont groupés d'une manière déterminée et constante pour chaque espèce. Comment s'opèrent ces réunions? C'est ce qu'on n'a pas encore expliqué d'une manière satisfaisante, et c'est la question dont nous allons maintenant nous occuper.

§ V.

D'après quelques observations incomplètes sur les Botrylles et sur les Pyrosomes, M. Savigny avait été porté à croire que, chez les Ascidies agrégées, les germes de tous les individus dont se compose chaque système ou groupe préexistent dans l'œuf, et que celui-ci donne naissance de prime abord, non à un seul jeune, mais à plusieurs petites Ascidies déjà réunies suivant l'ordre qui est particulier à chaque espèce. Le fait que M. Audouin et moi avons constaté en 1828, que M. Dalyell a observé depuis, et que je viens d'étudier dans tous ses détails, montre que chez les Polycliniens, au moins, il n'en est pas ainsi, car les jeunes, au sortir de l'œuf, sont

parfaitement libres et isolés, tandis que plus tard on trouve toujours ces animaux réunis par colonies nombreuses dans une masse tégumentaire commune, et groupés suivant des règles déterminées.

Je n'ai pas eu l'occasion d'étudier le développement des larves de Botrylles, et par conséquent je ne puis me prononcer sur leur mode d'évolution; mais je ferai remarquer que l'existence de quatre embryons réunis en un anneau chez les Pyrosomes, qu'admet M. Savigny (1), et le développement de plusieurs germes disposés en étoile dans chacune des larves des Botrylles, annoncé par M. Saars (2), ne suffiraient même pas pour expliquer l'association de ces animaux à l'âge adulte; car, chez les Pyrosomes, par exemple, chaque système, au lieu d'être formé par quatre individus seulement, se compose, à l'état adulte, de plusieurs centaines de ceux-ci, parvenus à des degrés de développement très-variés. Or, pour expliquer cette multiplication, il faut admettre que tous les individus d'un système, quel qu'en soit le nombre, préexistaient dans le même œuf, quoiqu'on n'ait pu apercevoir dans celui-ci que quatre embryons, ou bien que des individus provenant de quelque autre origine viennent peu à peu s'associer à ceux déjà existants, mais ne peuvent s'y réunir qu'autant qu'ils se placent dans certaines positions déterminées pour chaque espèce, et variables d'une espèce à une autre. La première de ces hypothèses, adoptée par M. Savigny (3), ne repose sur aucune observation directe, et ne me

(1) Op. cit., pag. 58.
(2) Op. cit., pag. 69.
(3) Op. cit., pag. 121.

paraît guère plus admissible que la célèbre théorie de l'emboîtement des germes, théorie devant laquelle l'imagination même la plus ardente doit s'effrayer ; la seconde de ces hypothèses laisse la difficulté tout entière, sinon pour les premiers fondateurs de ces singulières colonies zoologiques, du moins pour tous les membres dont elles se grossissent successivement.

Ces considérations m'ont conduit à porter une attention toute particulière sur le mode de multiplication des Ascidies, et à chercher si ces animaux ne posséderaient pas, comme les Polypes, un double mode de reproduction. Les observations que j'ai recueillies en 1834, pendant mon voyage sur la côte d'Afrique, m'ont fait penser qu'il en était ainsi, et dans une lettre que j'ai eu l'honneur d'adresser à l'Académie, dans sa séance du 12 janvier 1835, j'ai annoncé ce résultat; mais les faits que je possédais à cette époque ne me paraissaient pas assez concluants pour entraîner la conviction de tous les zoologistes, et avant que de les publier, j'ai cru devoir me livrer à de nouvelles recherches. Je me suis donc de nouveau occupé de cette question cet été, et les observations que j'ai recueillies me paraissent devoir lever toutes les incertitudes ; car elles me semblent montrer clairement que les Ascidies composées, ainsi que les Claveliniens, se reproduisent par bourgeonnement, aussi bien que par le moyen d'œufs.

En disséquant des Botrylles, M. Savigny a remarqué, vers le bord de ces masses étoilées, une multitude de petits tubes membraneux, un peu renflés vers le bout; il les appelle des *tubes marginaux*, et signale aussi leur existence chez les Diazones ; mais il n'entre dans aucun détail sur leurs relations avec les animaux englobés dans la même masse tégumentaire,

et ne s'explique pas sur leurs usages (1). Il m'a été facile de retrouver ces tubes marginaux chez les Botrylles de nos côtes (2), et, en les observant pendant la vie chez des espèces dont le tissu commun est assez translucide, j'ai vu que, dans le principe, chacun de ces appendices intérieurs est un petit tubercule qui se développe sur la surface de la portion abdominale de la tunique interne d'une Ascidie adulte. Ce tubercule s'allonge ensuite, et constitue un tube dont l'extrémité libre est fermée, et dont la cavité communique par son extrémité opposée avec la cavité abdominale de l'animal dont il provient; aussi, le sang qui circule dans cette dernière cavité pénètre-t-il jusqu'au fond de ce prolongement cœcal, et on y aperçoit un double courant très-actif. En général, à mesure que ces tubes marginaux s'avancent dans le tissu tégumentaire commun qui les entoure, ils se divisent en plusieurs branches, et l'extrémité de chacune de celles-ci ne tarde pas à se renfler, de façon à devenir claviforme (3); la circulation continue toujours à y être active, et bientôt on voit apparaître, vers le sommet de chaque renflement terminal, une petite masse granuleuse, dont la couleur se rapproche de celle de la portion thoracique des animaux adultes, situés auprès. Un peu plus tard, on commence à distinguer, dans cette petite masse organisée, les formes d'une Ascidie (4), et en effet, cette espèce de bourgeon ne tarde pas à devenir un jeune animal, semblable à ceux qui existaient déjà dans la masse

(1) Op. cit., p. 47 et 48.
(2) Pl. 6, fig. 2ª, 4ª, 6ª, etc.
(3) *t* fig. 1, pl. 7.
(4) Pl. 7, fig. 1ᶜ.

commune, dont il est destiné à devenir un nouvel habitant. Enfin, la communication entre la mère et le jeune individu s'oblitère; mais pendant quelque temps encore tous les jeunes individus provenant d'une même branche restent unis par leur pédoncule, et suivant toute apparence, c'est cette union qui détermine leur mode de groupement par systèmes.

Le Didemne gélatineux m'a fourni des exemples non moins évidents de ce mode de multiplication par bourgeons (1), et m'a en même temps démontré que le germe dont on voit le développement s'effectuer au sommet de chacune de ces espèces de stolons, n'est pas un œuf semblable à ceux que l'animal expulse au dehors; car, non-seulement il n'en a ni l'aspect ni la forme, mais son volume est dans l'origine vingt ou trente fois moindre que celui de la masse vitelline de ces corps propagateurs (2).

Chez les Polycliniens, j'ai également constaté ce mode de reproduction. Ainsi, dans l'Amarouque prolifère, j'ai fréquemment trouvé à la surface d'une masse arrondie constituée par une colonie de ces animaux, plusieurs petites branches filiformes, tantôt simples, tantôt rameuses, qui étaient formées par un prolongement du tissu tégumentaire commun, et qui consistaient en un tube fermé au bout, et renfermant dans son intérieur un ou plusieurs embryons, dont le développement était plus ou moins avancé (3); enfin, ces jeunes Ascidies se terminaient inférieurement par un pédi-

(1) Pl. 7, fig. 5^a, 5^c, 5^d.
(2) Pl. 7, fig. 5^a et 5^d.
(3) Pl. 3, fig. 2, 2^c, 2^d.

cule qui se prolongeait, en forme de tube grêle, dans la masse commune, et naissait, suivant toute apparence, de la tunique abdominale d'un individu adulte, comme nous l'avons déjà vu chez les Botrylles et les Didemnes ; mais je dois dire qu'il m'a été impossible de le suivre assez loin pour m'assurer de cette connexion.

Les faits que je viens d'exposer suffiraient certainement pour démontrer l'existence de la singulière propriété que les Ascidies composées possèdent, en commun avec les Polypes, de se multiplier par bourgeons aussi bien que par des œufs. Mais les observations dont il me reste à parler sont encore plus concluantes, car, pour les faire, il suffit d'une simple loupe. Elles se rapportent aux Clavelines.

Tous les zoologistes, à l'exemple de Cuvier (1) et de M. Savigny (2), s'accordent à considérer les Clavelines comme des Ascidies simples; et, en effet, ces animaux ne sont pas réunis dans une masse commune, et n'adhèrent au corps étranger sur lequel ils vivent que par leur extrémité inférieure; quelquefois on les trouve tout à fait isolés, et lorsqu'ils sont rassemblés en groupes, ils ne paraissent avoir entre eux aucune connexion intime. Cependant ils naissent à la manière des Ascidies composées, et leur séparation ultérieure n'est pour ainsi dire qu'un accident.

Si on examine avec attention le pied d'une *Clavelina lepadiformis*, on voit que l'animal adhère au sol par un nombre plus ou moins considérable de prolongements radiciformes

(1) Règne animal, tom. III, pag. 166 (2e édit.).
(2) Op. cit., p. 137, etc.

de sa tunique tégumentaire (1), et, en général, on distingue en outre des filaments cylindriques, qui, mêlés à ces racines et formés à l'extérieur par le même tissu, rampent aussi à la surface du sol, mais sont creux et renferment dans leur intérieur un tube membraneux (2). Ce tube se continue supérieurement avec la tunique interne de l'Ascidie (3), et la circulation qui se voit dans l'intérieur de l'abdomen de celle-ci, se continue également dans ce canal appendiculaire. Cette espèce de stolon, qui est fermée au bout et qui est d'abord simple, se ramifie à mesure qu'elle s'allonge; et lorsque sa croissance est plus avancée, on voit se développer à l'extrémité de ses branches, ou même sur divers points de sa longueur, des tubercules qui renferment dans leur intérieur une petite masse organique en connexion avec le tube intérieur (4). Ces tubercules s'allongent, s'élèvent verticalement et deviennent claviformes; le sang qui circule dans la tige pénètre dans la masse molle et pyriforme qui en occupe le centre; mais cette masse, d'abord pédiculée et adhérente à la tunique interne du canal principal, ne tarde pas à se séparer de celui-ci, et alors elle ne participe plus à la circulation de l'individu dont elle a pris naissance. Son développement se continue néanmoins, et bientôt on y distingue tous les principaux traits caractéristiques de la structure des Ascidies (5); le sac branchial se dessine parfaitement sans être encore en communication avec l'extérieur; on

(1) Pl. 1, fig. 1; pl. 2, fig. 1, 1^c.
(2) s' fig. 1, pl. 2.
(3) t' fig. 1, pl. 2.
(4) Pl. 2, fig. 1^c.
(5) Pl. 2, fig. 1^g.

y reconnaît aussi un tube digestif recourbé en forme d'anse sous le thorax; enfin, l'ouverture buccale se montre plus tard, et la forme générale du jeune animal se rapproche de plus en plus de celle de l'adulte. Il se produit donc ainsi, par bourgeon, un nouvel individu qui tient à celui dont il naît, par un prolongement radiciforme de la tunique tégumentaire, et qui, pendant les premiers temps de sa vie, avait avec sa mère une circulation commune, mais qui jouit ensuite d'une vie indépendante. Alors il peut rester encore en connexion avec l'individu dont il provient, par l'intermédiaire de ses racines, ou bien devenir complétement libre par la rupture de ces filaments grêles, sans que du reste rien d'important soit changé dans son mode d'existence.

Dans une autre espèce de Claveline, assez voisine de la précédente (1), j'ai observé la formation de bourgeons reproducteurs et de jeunes individus, non-seulement à l'aide de ces sortes de stolons radiciformes dont il vient d'être question, mais aussi sur la paroi même du corps de l'animal adulte, comme on peut le voir dans la figure 3 de la planche 2.

Ces observations montrent que chez les Clavelines le mode de développement est essentiellement le même que chez les Ascidies composées, et la seule différence importante qui distingue ces espèces entre elles, tient à ce que chez les premières le tissu tégumentaire des jeunes ne se développe pas autant que chez les dernières, et ne se soude pas avec celui des adultes dans leurs points de contact; d'où il résulte que les indi-

(1) La Claveline allongée.

vidus provenant d'une même souche restent isolés dans toute leur longueur, au lieu d'être réunis en une masse commune.

Enfin, chez les Pérophores, que j'ai eu fréquemment l'occasion d'étudier sur les côtes de la Manche, la multiplication par bourgeons est également facile à constater, et ici les connexions intimes qui chez les Clavelines réunissent entre eux les individus d'un même groupe pendant le jeune âge seulement, persistent pendant toute la vie; car, ainsi que M. Lister l'a très-bien observé, ces petits êtres sont toujours réunis par grappes sur une tige radiciforme commune, et le sang qui circule dans l'un de ces animaux descend par son pédoncule dans cette tige et pénètre ainsi jusque dans l'individu suivant, de sorte qu'il existe chez ces Ascidies une circulation commune ayant autant de centres particuliers et d'organes moteurs qu'il y a d'animaux provenant d'une même souche.

§ VI.

D'après l'ensemble de faits que j'ai exposé dans ce mémoire, on voit que les Ascidies ont avec les mollusques proprement dits des analogies moins intimes qu'on ne le croyait généralement. Elles ressemblent, il est vrai, à ces animaux par la disposition de l'appareil digestif et par quelques particularités de l'appareil respiratoire; mais elles s'en éloignent par leur mode de circulation, par les métamorphoses que les individus provenant d'œufs subissent dans le jeune âge, et surtout par la singulière propriété que la plupart d'entre eux possèdent, de se multiplier au moyen de bourgeons. Par ces derniers caractères, d'une si haute importance physiologique, elles se rapprochent beaucoup des polypes; et si l'on

compare la conformation générale de leur corps avec celle des Eschares, des Vésiculaires, des Halodactyles, des Pédicellines, et des autres zoophytes que j'ai proposé de désigner sous le nom de *polypes tuniciens* (1), on ne pourra méconnaître d'autres analogies non moins frappantes; le mode d'agrégation suivant lequel la plupart d'entre elles se réunissent en sociétés, et jusqu'à leur aspect phytoïde, tout semble les rapprocher des polypes autant que des mollusques; et pour mettre les classifications zoologiques en harmonie avec nos connaissances anatomiques et physiologiques, il me semblerait convenable de ne plus confondre les Tuniciers avec les mollusques, comme le voulait M. Cuvier, mais d'en former, à l'exemple de Lamarck, une division particulière intermédiaire entre les mollusques bivalves et les polypes. On reviendrait donc vers les opinions des anciens zoologistes, qui ne distinguaient pas les Ascidies composées des véritables polypes, mais on n'irait pas aussi loin qu'eux, et l'on suivrait une marche intermédiaire entre les deux extrêmes où l'on s'est tour à tour jeté, suivant qu'on s'en tenait exclusivement à la considération des formes extérieures, ou qu'on se guidait uniquement par les analogies anatomiques tirées de la structure des principaux viscères. Du reste, ce résultat est aussi celui auquel M. Savigny lui-même paraît s'être arrêté, et l'autorité de son opinion ajoutera certainement un grand poids aux arguments que je viens de présenter en faveur de ce mode de distribution méthodique.

---

(1) Voyez le journal l'*Institut*, année 1837; séance de la Société philomatique du 20 mai.

SECONDE PARTIE.

OBSERVATIONS ZOOLOGIQUES.

§ I.

Les zoologistes s'accordent généralement à diviser la famille des Ascidiens en deux grandes sections : les Ascidies simples qui vivent isolées, ou qui, du moins, n'ont entre elles aucune connexion organique ; et les Ascidies composées, qui vivent en grand nombre confondues dans une seule masse, et qui y sont unies par un tissu tégumentaire commun. Mais, d'après les observations consignées dans la première partie de ce mémoire, il me paraîtrait nécessaire de modifier cette classification. Effectivement, le mode de reproduction que j'ai fait connaître chez les Clavelines et les Pérophores, ainsi que les connexions organiques qui chez ces animaux lient entre eux les divers individus issus d'une même souche, ne permettent plus de ranger ces Tuniciers parmi les Ascidies simples, et, d'un autre côté, l'absence de toute soudure entre le corps des individus ainsi groupés sur une base commune, les éloigne trop des Ascidies composées, pour que l'on puisse les réunir à celles-ci. Il me paraîtrait, par conséquent, convenable d'établir pour ces animaux un troisième groupe, qui serait intermédiaire entre les deux sections déjà admises, et qui comprendrait les Ascidies qui se reproduisent par des bourgeons aussi bien que par des œufs, et qui vivent réunies sur des prolongements

radiciformes communs, mais qui, du reste, sont libres de toute adhérence entre elles.

On réserverait alors le nom d'*Ascidies simples* pour les Ascidies qui ne se reproduisent point par bourgeons, et qui ne vivent pas réunies en groupes, par l'intermédiaire d'une portion commune du tissu tégumentaire.

Enfin, les *Ascidies composées* se rapprocheraient de cette division nouvelle par leur mode de multiplication, mais s'en distingueraient par l'existence d'un seul corps tégumentaire commun à tous les individus dont se compose chaque colonie; tandis que chez les premiers, chaque individu possède une tunique tégumentaire qui lui est propre.

Je proposerai aussi de donner à ce groupe intermédiaire le nom de : Section des Ascidies sociales.

§ II.

Cette section nouvelle comprend plusieurs espèces assez communes sur nos côtes. L'une d'elles, l'*Ascidia lepadiformis* de Muller (1), a été assez bien figurée par ce zoologiste, et a été rapportée avec raison par M. Savigny au genre claveline (2), mais ne doit pas être confondue avec l'Ascidien que ce dernier savant a décrit sous le même nom, dans le supplément de son excellent ouvrage (3). Je l'ai trouvée en assez grande abondance à Saint-Vaast-la-Hougue, aux îles Chausey, à Roscoff, et sur plusieurs autres points de la por-

(1) *Zoologica Danica*, tome II, page 54, pl. 79, fig. 5.

(2) *Mém. sur les anim. sans vert.*, deuxième partie, p. 174.

(3) Savigny, op. cit., p. 237.

tion granitique ou schisteuse du littoral de la Manche. Elle vit, en général, attachée sur les rochers, et ne se rencontre qu'au-dessous de la limite des basses eaux ordinaires. Quelquefois ces Clavelines sont solitaires; mais, en général, on les voit réunies en assez grand nombre, de façon à former de petites touffes. Leur corps (1), long d'environ deux centimètres, est presque cylindrique, mais beaucoup plus large dans son tiers supérieur que dans le reste de son étendue; cette portion renflée constitue ce que l'on peut appeler le *thorax* de l'animal, tandis que la portion rétrécie correspond à son *abdomen* (2). A son extrémité supérieure se trouve l'ouverture buccale, qui est circulaire, dirigée directement en haut, et garnie d'un *rebord labial* très-mince, lequel s'élève verticalement en forme de cylindre, et n'offre aucune trace de divisions lobulaires, mais donne attache intérieurement à une couronne de filaments tentaculaires (3), dont le nombre est ordinairement de trente, et dont dix sont assez longs pour atteindre presque l'axe de l'orifice, tandis que les autres, situés entre les premiers, sont très-courts. A peu de distance de la bouche et vers la partie supérieure de la face dorsale du thorax, se trouve l'ouverture anale, qui est également circulaire, et à bords minces et entiers (4). Enfin, à l'extrémité inférieure du corps, on voit un nombre variable de *prolongements radiciformes* (5), qui servent à le fixer au sol.

(1) Voyez pl. 1, fig. 1.
(2) Pl. 2, fig. 1, A thorax; B abdomen.
(3) Pl. 2, fig. 1^b.
(4) *i*, fig. 1, pl. 2.
(5) *s*, fig. 1, et 1^c pl. 2.

Presque tous les tissus qui forment ces parties diverses sont incolores et d'une transparence si grande, qu'on peut facilement étudier la structure intérieure de l'animal vivant, sans avoir recours à la dissection. On remarque cependant au milieu de ces parties hyalines, quelques lignes d'un jaune de soufre (1) et d'un aspect granuleux, lesquelles correspondent, comme nous le verrons bientôt, aux points de soudure de certaines parties intérieures; deux de ces bandes (2), très-rapprochées l'une de l'autre, descendent verticalement tout le long de la ligne médiane de la face ventrale du thorax, et sont séparées par un espace linéaire incolore, mais semi-opaque; une troisième ligne jaune (3) naît à droite et à gauche de celles-ci, vers la partie supérieure du thorax, et se porte horizontalement en arrière, en décrivant un cercle autour de la base de l'ouverture buccale; une quatrième ligne de même couleur et disposée également en anneau (4) occupe l'extrémité inférieure du thorax, et paraît naître aussi des lignes verticales dont il a déjà été question; une cinquième ligne semblable aux précédentes entoure l'ouverture anale, et se prolonge en haut et en avant jusque tout auprès du bord postérieur de la bouche (5). En général, on aperçoit, à quelque distance de la face dorsale du thorax, une sixième ligne jaune qui descend verticalement de l'anneau supérieur à l'anneau inférieur, mais qui est beaucoup

(1) Pl. 1, fig. 1.
(2) Pl. 2, fig. 1, *f*.
(3) Pl. 2, fig. 1, *e'*.
(4) *k'*, fig. 1, pl. 2.
(5) *i'*, fig. 1, pl. 2.

plus pâle que les autres, et se trouve située plus profondément. Vers le milieu de la portion abdominale du corps, on aperçoit une petite masse ovalaire d'un jaune orangé (1), qui est garnie de quatre lignes verticales d'un jaune clair, comme celles du thorax, et qui n'est autre chose que l'estomac. Enfin, tout auprès se trouve une autre tache orangée, formée par une portion colorée de l'intestin, et plus bas une masse blanchâtre d'aspect glanduleux (2).

La *tunique extérieure* ou membrane tégumentaire du corps est mince, mais d'un tissu subcartilagineux (3); elle n'adhère que faiblement aux autres parties, si ce n'est autour des deux orifices buccal et anal, et elle ne présente rien de remarquable.

La *seconde tunique,* comme suspendue dans l'intérieur de la première (4), est tout à fait membraneuse et d'une délicatesse extrême. Supérieurement elle adhère au pourtour des deux orifices, et inférieurement elle se termine en cul-de-sac; souvent elle présente dans ce dernier point quelques prolongements tubuleux, tantôt simples, tantôt ramifiés, qui descendent vers le pied de l'animal et s'avancent quelquefois dans l'intérieur des appendices radiciformes de la tunique externe (5); enfin, sa surface est parcourue par diverses *fibres musculaires* (6), dont les unes sont circulaires et constituent des sphincters

(1) *l*, fig. 1, pl. 2.
(2) *p*, *q*, fig. 1, pl. 2.
(3) *a*, fig. 1, pl. 2.
(4) *b*, fig. 1, pl. 2.
(5) *b'*, *t*, fig. 1, pl. 2.
(6) Pl. 2, fig. 1^a.

autour de la bouche et de l'anus, tandis que les autres, au nombre de neuf ou dix paires, naissent d'une sorte de collier tendineux, situé autour de la bouche (1), et descendent verticalement jusqu'à l'extrémité inférieure de l'abdomen. Ces derniers muscles servent à raccourcir le corps ou à l'infléchir, et il paraîtrait que c'est par l'élasticité de sa tunique externe qu'il s'allonge, après avoir été ainsi rétracté; car je n'ai pu découvrir aucune trace de fibres musculaires transversales, propres à agir comme antagonistes des fibres verticales.

Dans toute la portion thoracique du corps, se trouve une *troisième tunique*, qui est membraneuse comme la précédente, et qui est suspendue dans l'intérieur de l'espèce de sac formé par celle-ci; elle y adhère vers le bord de l'ouverture anale et le long de la ligne blanchâtre, qui forme, comme nous l'avons déjà dit, un collier autour de la base de la bouche. Inférieurement, cette poche membraneuse se soude au pourtour des deux ouvertures du canal digestif, ou plutôt se continue avec les parois de ce tube; et sa cavité constitue ce que j'ai désigné dans la première partie de ce mémoire, sous le nom de *chambre thoracique;* elle renferme l'appareil branchial et présente du côté dorsal un espace libre, qui constitue une sorte de *cloaque* (2), et va aboutir à l'ouverture anale. On y remarque le long de la ligne médio-ventrale un sillon vertical, bordé de chaque côté par les lignes jaunes dont il a déjà été question, et, dans le

(1) *d*, fig. 1 et 1^b, pl. 2.
(2) Pl. 2, fig. 1, *h*.

point où elle adhère à la seconde tunique entre la bouche et l'anus, on aperçoit un petit tubercule qui paraît être un *ganglion nerveux* (1).

Cette chambre thoracique ressemble exactement à la grande cavité des Biphores, et en différerait à peine, si le cloaque était plus court et si l'ouverture anale était plus éloignée de la bouche et dirigée en arrière. Mais pour mettre dans tout son jour l'analogie de structure qui existe entre ces animaux, il faut se former une idée exacte de la disposition de l'appareil branchial chez les uns et chez les autres.

Chez les Biphores (le *Salpa maxima*, par exemple), la branchie consiste, comme chacun le sait, en une bande membraneuse tendue obliquement d'un bout de cette cavité à l'autre (2). En avant, elle naît de la partie dorsale de la chambre thoracique, au-dessous du point où se trouvent le ganglion nerveux et l'appareil oculiforme; puis elle devient libre, et va se terminer sur le noyau viscéral (ou abdomen) entre l'ouverture œsophagienne et l'orifice du rectum, de façon à diviser la chambre thoracique en deux portions, l'une antéro-ventrale ou pharyngienne, l'autre postéro-dorsale et analogue au cloaque.

Chez notre Claveline, il existe aussi une large bande membraneuse (3) qui naît de la face dorsale de la chambre thoracique, au-dessous du tubercule gangliforme, et qui, par son

(1) Pl. 2, fig. 1, *j*.

(2) Voyez les planches que j'ai données dans la nouvelle édition du *Règne animal*, de Cuvier (Mollusques, pl. 121, fig. 1.)

(3) *g*, fig. 1, pl. 2.

extrémité opposée, se fixe à l'espace étroit situé entre l'ouverture œsophagienne et la terminaison de l'intestin, de façon à séparer le cloaque de la grande cavité pharyngienne ou respiratoire; seulement, au lieu de présenter de chaque côté de simples stries, garnies de cils vibratiles, comme chez les Biphores, cette espèce de tige verticale porte à droite et à gauche une série d'appendices filiformes, qui se dirigent horizontalement vers le côté ventral de la cavité respiratoire, où ils se fixent de chaque côté du sillon médian, et qui, pendant ce trajet, sont réunis entre eux par une multitude d'autres filaments plus grêles et verticaux (1). Il résulte de cette disposition des parties, une sorte de cage à grillage serré, qui occupe toute la portion pharyngienne de la chambre branchiale, et qui ne permet de communication entre celle-ci et le cloaque qu'à travers les mailles de son réseau, lesquelles sont bordées tout autour de cils vibratiles. Cet appareil branchial si compliqué adhère aussi à la tunique thoracique par ses deux extrémités, et cette union, de même que celle dont j'ai déjà mentionné l'existence de chaque côté du sillon médio-ventral, est marquée par une ligne jaune. L'espèce de tige dorsale qui constitue de la sorte la base de l'appareil branchial, et qui représente la branchie simple des Biphores, fait une saillie assez considérable dans l'intérieur de la cavité respiratoire, et offre le long de son bord ventral une série de dix languettes membraneuses, lesquelles se tiennent ordinairement droites et paraissent être susceptibles d'une sorte d'érection. C'est aussi le long de son bord que

(1) *e*, fig. 1 et fig. 1^{c}, pl. 2.

se voit, en général, la ligne jaune verticale déjà indiquée, comme s'étendant d'une extrémité du thorax à l'autre, près du dos ; enfin, l'intérieur de cette bande membraneuse est occupé par une grande cavité vasculaire, à laquelle j'ai donné ci-dessus le nom de *sinus branchial* ou de *sinus dorsal*. Les bandelettes transversales qui en naissent, sont au nombre de douze paires, et les filaments verticaux qui réunissent celles-ci entre elles sont tous à peu près de même grosseur : on en compte environ trente par rangée, et il y a treize de ces rangées, savoir : onze situées entre les douze bandelettes tranversales, et deux qui s'étendent de la première et de la dernière de ces bandelettes aux parois de la chambre thoracique, et qui s'y fixent le long des deux lignes jaunes placées comme des anneaux aux deux extrémités de cette chambre. Quelques brides membraneuses paraissent s'étendre aussi de divers points de la surface du réseau branchial aux parois de la cavité dans laquelle celui-ci se trouve suspendu ; mais elles sont peu nombreuses, et n'empêchent pas les œufs, déposés dans le cloaque, de s'insinuer souvent dans la portion de cette cavité située de chaque côté du sac respiratoire. Les espèces de mailles étroites et allongées, fournies par ces filaments verticaux, sont bordées, comme nous l'avons déjà dit, par des cils vibratiles, et l'espace circonscrit par chacune d'elles n'est pas occupé par une membrane, mais constitue une ouverture en forme de boutonnière, dont il a été question dans la première partie de ce mémoire, sous le nom de *stigmate branchial*. Ces fentes, à travers lesquelles l'eau passe du sac branchial dans la chambre thoracique, pour s'échapper ensuite au dehors par l'ouverture anale, sont par conséquent disposées de la même manière que les fila-

ments verticaux qui les circonscrivent; c'est-à-dire, parallèlement entre elles et par rangées transversales, dont le nombre s'élève à treize. Enfin, chacun de ces filaments verticaux est creusé d'un canal qui s'ouvre par ses deux extrémités dans d'autres canaux analogues, mais plus gros, qui occupent l'intérieur des bandelettes transversales, et ces derniers canaux à leur tour débouchent par une de leurs extrémités dans le grand sinus dorsal ou branchial, et par l'extrémité opposée (1) dans un repli vertical de la paroi ventrale de la chambre thoracique; repli qui est circonscrit par les deux lignes parallèles jaunes dont il a déjà été question, et qui met l'appareil respiratoire en relation avec le grand *sinus thoracique*, compris entre cette chambre et la portion ventrale de la tunique interne du corps. Il est encore à noter que ces deux sinus communiquent aussi entre eux par des vaisseaux qui entourent l'ouverture buccale et qu'ils donnent naissance à d'autres canaux qui descendent vers l'abdomen.

La portion pharyngienne de la chambre thoracique, tapissée, comme nous venons de le voir, par le réseau branchial, communique au dehors par son extrémité supérieure; l'ouverture buccale en occupe presque toute la largeur et est garnie d'une sorte de grillage radié, formé par les filaments tentaculaires dont il a déjà été question (2). La cavité ainsi circonscrite est cylindrique et beaucoup plus longue que large; enfin, à son extrémité inférieure, se voit une large fente transversale, qui fait face à l'ouverture buccale et qui est l'orifice

(1) Pl. 2, fig. 1^e.

(2) Pl. 2, fig. 1^b.

de l'*œsophage*. Ce dernier conduit (1), assez large et moins long que le thorax, descend verticalement dans l'abdomen et se termine à l'*estomac* (2), renflement ovoïde de couleur jaune foncé, marqué de quatre lignes longitudinales ou côtes d'apparence granuleuse et d'une teinte jaune de soufre. L'*intestin* qui naît de l'extrémité inférieure de l'estomac, se dirige d'abord verticalement en bas, puis se recourbe en avant et en haut, de manière à former une anse, remonte vers le thorax en longeant l'estomac et l'œsophage, et en les recouvrant un peu du côté droit (3); parvenu à la partie supérieure de l'abdomen, l'intestin se recourbe de nouveau, passe à côté de l'œsophage, remonte un peu en arrière du sac branchial, et va se terminer à la partie inférieure du cloaque, vers le niveau de l'antépénultième rangée de stigmates branchiaux (4). Pendant ce trajet, l'intestin conserve à peu près le même calibre, mais varie dans son aspect, et se divise ainsi en trois portions. La première partie qui fait suite à l'estomac et qui forme l'anse, est incolore et transparente; on peut la désigner sous le nom de *duodénum*. La portion suivante, qui est située au niveau de l'estomac, mais du côté ventral du corps, est au contraire d'une couleur jaune terne, et le tissu de ses parois semble être de nature glandulaire. Je serais porté à la considérer comme une partie hépatique du tube alimentaire, et à la comparer à l'organe qui chez les insectes est connu sous la dénomination de *ven-*

(1) *k*, fig. 1, pl. 2.
(2) *l*, fig. 1, pl. 2.
(3) *m*, fig. 1, pl. 2.
(4) *n*, fig. 1, pl. 2.

tricule chylifique. Enfin, la troisième portion de l'intestin est de nouveau membraneuse et incolore ; c'est dans son intérieur que les matières fécales s'amassent sous la forme de boulettes brunâtres, et, à raison de ses fonctions et de sa position, on peut l'appeler *gros intestin* ou *rectum.*

A droite de l'anse intestinale se trouve une masse glanduleuse (1), dont la plus grande partie est formée par l'ovaire, reconnaissable à ses vésicules et aux œufs à divers degrés de développement qui s'y voient. Au-dessous de l'ovaire est un paquet de filaments blanchâtres et rameux (2) qui paraissent constituer le testicule et qui s'étalent un peu sur l'intestin. Enfin, de ce paquet de viscères naît un canal filiforme, d'un blanc mat, qui remonte entre l'estomac et l'intestin, longe l'œsophage du côté gauche et va s'ouvrir dans le cloaque près de l'orifice du rectum (3). Le liquide qu'il renferme est d'un blanc argenté et fourmille d'animalcules spermatiques ; on doit par conséquent considérer ce conduit lui-même comme un *canal déférent ;* mais peut-être sert-il aussi comme oviducte, car je n'ai pu apercevoir aucun autre moyen de communication entre la masse viscérale dont il sort, et le cloaque où les œufs sont déposés. Il est aussi à noter qu'en écrasant le paquet, formé par l'ovaire et le testicule, on en voit également sortir de la liqueur spermatique, caractérisée par des zoospermes ; mais il m'a été impossible de m'assurer si ce liquide provient, comme je le pense, de la portion inférieure de cette masse, que par analogie je considère

(1) *p*, fig. 1.
(2) *q*, fig. 1.
(3) *r*, fig. 1.

comme un testicule, ou de toute autre partie. Les œufs (1) sont petits, circulaires, et d'une couleur jaune verdâtre. Enfin le *cœur* (2) est logé aussi à la partie inférieure de l'abdomen, et se trouve accoté à l'intestin et à l'ovaire, à droite et en avant du premier; il est renfermé dans un sac membraneux, et a une forme cylindrique; son extrémité supérieure est au niveau du milieu de l'estomac, et son extrémité inférieure, recourbée un peu en arrière, dépasse quelquefois un peu l'anse intestinale.

J'ajouterai encore que les prolongements radiciformes, dont l'extrémité inférieure du corps est entourée, portent souvent, de distance en distance, de petits tubercules pyriformes qui, en se développant, deviennent de nouveaux individus (3), ainsi que cela a été exposé dans la première partie de ce mémoire.

J'ai trouvé à Villefranche, près de Nice, une autre espèce de Claveline qui ressemble extrêmement à celle dont il vient d'être question, mais qui s'en distingue par la couleur des lignes opaques du thorax et de l'estomac, lesquelles, au lieu d'être jaunes, sont d'un blanc de lait; je la désignerai sous le nom de CLAVELINE RISSOIENNE (4), en l'honneur de M. Risso, qui, dans l'étude des richesses zoologiques de cette côte, a déployé une activité et un zèle dignes d'éloges.

Une troisième espèce du même genre, que je nommerai

---

(1) Pl. 2, fig. 1^h.

(2) *o*, fig. 1, pl. 2.

(3) Pl. 2, fig. 1^e.

(4) *Clavelina Rissoana Nob.* L'indication de cette espèce nouvelle a été ajoutée depuis la lecture de mon mémoire à l'Académie.

CLAVELINE SAVIGNIENNE (1), habite nos côtes de l'Ouest, et notamment les environs de la Rochelle; elle diffère des deux précédentes par la longueur considérable de la portion abdominale du corps, qui est trois ou quatre fois aussi long que le thorax, et par la forme allongée de l'estomac. N'ayant pas observé cette ascidie à l'état vivant, je n'ai pu connaître la couleur des lignes granuleuses dont le thorax est orné, mais leur disposition est la même que dans les espèces précédentes. Je suis porté à croire que la Claveline dont M. Savigny parle dans l'appendice de son ouvrage (2), se rapporte à cette espèce plutôt qu'à l'*Ascidia lepadiformis* de Muller; il est cependant à noter que le nombre des vaisseaux transversaux des branchies, indiqué par ce savant (15 ou 16), est plus élevé que dans les trois espèces que je viens de caractériser.

Une quatrième espèce que j'ai trouvée sous les fragments de rochers entassés autour de l'île de Tatihou, et que j'appellerai CLAVELINE ALLONGÉE (3), est encore plus grêle et plus allongée que la précédente; mais se fait remarquer surtout par la conformation du thorax, qui est très-court, presque aussi large que long, et n'offre dans son intérieur que trois rangées transversales de stigmates branchiaux, séparés par deux vaisseaux transversaux. Le cloaque est en même temps proportionnellement plus court que dans les espèces précédentes, et l'œsophage est extrêmement long; l'estomac, de couleur jaune et de forme ovoïde, est situé très-près de l'extrémité inférieure de l'abdomen, et le cœur, relégué encore

(1) *Clavelina Savigniana Nob.*

(2) Op. cit., pag. 237.

(3) *Clavelina producta Nob.* Voyez pl. 2, fig. 3.

plus bas, n'arrive même pas au niveau de l'ouverture pylorique. Les téguments sont transparents comme dans les espèces précédentes, mais légèrement teintés, et on n'aperçoit pas de lignes granuleuses jaunes ou blanches autour du thorax.

La Claveline allongée porte souvent des bourgeons reproducteurs, non-seulement sur ses appendices radiciformes, mais aussi sur la surface des parois de l'abdomen (1).

Enfin, une cinquième espèce sur laquelle j'appellerai également l'attention des zoologistes, pourra porter le nom de CLAVELINE NAINE (2), et se fait remarquer par sa petitesse, par sa forme trapue, et par le mode de conformation de son sac branchial. Cette cavité est assez vaste, mais ne présente de chaque côté que deux rangées transversales de stigmates branchiaux, qui, au nombre de cinq par rangée, diffèrent beaucoup entre eux quant à leurs dimensions; ceux situés près du sinus dorsal sont très-grands, tandis que les suivants deviennent de plus en plus petits, de façon que l'ensemble de ces organes représente de chaque côté du thorax une bande triangulaire. Il est aussi à noter que les stigmates de la rangée supérieure sont moins grands que ceux de la rangée inférieure, et qu'il existe un espace considérable entre ces organes et la bouche. L'œsophage est court; l'estomac globuleux et l'intestin n'offrent rien de remarquable; enfin le cœur est très-grand.

C'est encore au milieu des rochers de l'île Tatihou que j'ai découvert cette espèce nouvelle.

---

(1) Voyez pl. 2, fig. 3, *u*.

(2) *Clavelina pumilio*, pl. 2, fig. 2 et 2ᵃ.

La CLAVELINE BORÉALE, dont MM. Cuvier et Savigny ont fait connaître la structure (1), se distingue de toutes les espèces précédentes par plusieurs caractères, tels que le nombre considérable des vaisseaux transversaux des branchies, et par conséquent des rangées de fentes respiratoires (35), la disposition des filaments tentaculaires de l'orifice buccal, sur deux rangs, et l'existence d'un pédoncule, qui forme une grande portion de l'abdomen, et dans laquelle ne pénètrent ni les viscères ni même la tunique interne.

§ III.

La SECTION DES ASCIDIES COMPOSÉES comprend des animaux qui diffèrent beaucoup entre eux, tant sous le rapport de leur structure interne que relativement à leur conformation extérieure et à leur mode de réunion; aussi est-il nécessaire de la diviser en plusieurs groupes. Mais les zoologistes ne s'accordent pas entre eux sur la marche à suivre dans cette distribution méthodique. M. Savigny (2), dont la classification, fondée sur l'anatomie, a été adoptée avec de légères modifications par la plupart des auteurs (3), répartit ces animaux en trois sections et en dix genres. M. Cuvier, au contraire, n'en forme que deux divisions génériques (4);

---

(1) Cuvier, Mollusq., *Mém. sur les Ascidies*, pag. 24.— Savigny, Op. cit., pag. 172.

(2) Op. cit., page 138 et 238.

(3) Lamarck, *Hist. des Anim. sans vert.*, tome III, page 91. — Latreille, *Familles naturelles*, page 527. — Blainville, *Dict. des Sciences nat.*, article MALACOLOGIE, tome 32, page 365, etc.

(4) Voyez *Règne animal*, tome III, page 186.

mais ni l'un ni l'autre de ces systèmes ne me paraissent bien naturels.

En effet, lorsqu'on compare entre eux les Ascidies composées, on ne tarde pas à reconnaître qu'elles se rapportent à trois formes principales ou types d'organisation. Chez les unes (1), le corps se compose de trois parties bien distinctes, un thorax renfermant l'appareil branchial, un abdomen supérieur logeant les organes de la digestion, et un post-abdomen où se trouvent relégués les organes de la génération et le cœur; chez d'autres (2), le corps ne se compose que d'un thorax et d'un abdomen simple, tous les viscères étant réunis dans une même cavité; enfin, chez d'autres encore (3), il n'y a plus de distinction à établir extérieurement entre l'abdomen et le thorax, les viscères se trouvant accolés à la chambre thoracique, et formant avec elle une seule masse plus ou moins ovoïde.

D'après ces différences dans le mode général de conformation, il me paraîtrait convenable de diviser la famille des Ascidies composées en trois tribus, que je désignerai sous les noms de *Polycliniens*, de *Didemniens* et de *Botrylliens*.

§ IV.

La TRIBU DES POLYCLINIENS, dont nous nous occuperons d'abord, est caractérisée principalement par la division du corps en trois portions distinctes : un thorax, un abdomen

(1) Pl. 3, fig. 1, etc.
(2) Pl. 7, fig. 5^b; pl. 8, fig. 2^a, etc.
(3) Pl. 7, fig. 1, 2, 3, 4.

supérieur et un post-abdomen (1) ; mais elle se fait remarquer aussi par plusieurs particularités anatomiques, telles que le grand développement de l'appareil générateur (2), et la position du cœur à l'extrémité inférieure du corps (3). Elle est nombreuse en espèces, et se laisse diviser en deux sections naturelles, reconnaissables au mode de conformation de l'orifice anal. Chez les uns, cette ouverture est entourée d'une couronne régulière de rayons ou lobules marginaux, et ressemble exactement à la bouche; chez les autres, l'anus ne ressemble nullement à cette dernière ouverture, et n'est pas rayonné, ou du moins n'est garni que de lobules marginaux irréguliers. Le premier de ces groupes, que l'on pourrait désigner sous le nom de *Polycliniens bistellés*, ne se compose que du genre Sigelline de M. Savigny (4); le second, que j'appellerai la division des *Polycliniens unistellés*, comprend les genres Polycline, Aplide, Sidnie et Synoïque du même auteur.

Je n'ai rencontré sur nos côtes aucune espèce de Polyclinien bistellé ; les Polycliniens unistellés y sont, au contraire, extrêmement communs, et ce n'est pas sans surprise que j'ai vu que presque tous ceux-ci ne pouvaient se ranger dans aucun des genres établis par M. Savigny. En effet, la plupart de ces Ascidies ressemblent exactement aux Aplides et aux Synoïques par la conformation générale de leur corps ; mais leur anus, au lieu de s'ouvrir directement au dehors, comme chez ces animaux, débouche dans une sorte de cloaque com-

(1) A, B, C, fig. 1, pl. 3.
(2) *q*, *p*, fig. 1, pl. 3.
(3) *o*, fig. 1, pl. 3.
(4) Op. cit., page 178.

mun, qui appartient à un grand nombre d'individus, et qui affecte la forme d'un gros canal creusé dans la masse commune, presque toujours ramifié inférieurement et terminé à son extrémité opposée par un grand orifice excréteur (1); sous ce rapport ils se rapprochent des Polyclines (2), mais ils en diffèrent par la conformation de leur post-abdomen et de leur cellule tégumentaire : celle-ci ne forme pas trois loges superposées ; disposition qui rend l'extraction du corps de l'animal renfermé dans son intérieur, très-difficile, à moins de rupture, et qui a valu aux Polyclines le nom qu'elles portent ; elle ne constitue qu'une seule chambre, d'où le corps tout entier s'échappe facilement sans se rompre, pour peu qu'on la comprime, et le post-abdomen, au lieu d'être pédiculé et fixé à la partie latérale de l'abdomen supérieur, comme chez ces animaux (3), fait suite à l'abdomen supérieur, comme chez les Aplides (4). Il me paraît, par conséquent, nécessaire de placer ces Polycliniens aplidiformes et à cloaques communs, dans une division générique particulière; et pour rappeler la disposition curieuse de leur cloaque commun, que l'on ne peut mieux comparer qu'à un égout rameux, je proposerai de désigner ce genre nouveau sous le nom d'AMAROUQUE.

Une de ces Amarouques, qui me paraît nouvelle pour la science et que je nommerai AMAROUQUE PROLIFÈRE (5),

(1) Pl. 1, fig. 4^a, 5^a.
(2) Pl. 3, fig. 4.
(3) Pl. 3, fig. 4^b.
(4) Pl. 3, fig. 1, etc.
(5) *Amaroucium proliferum Nob.* Pl. 1, fig. 3.

est très-commune aux environs de Saint-Vaast-la-Hougue, et se trouve adhérente aux rochers bien abrités vers la limite des basses eaux. Elle constitue des masses épaisses et charnues, dont la couleur est le plus ordinairement jaunâtre, avec des taches allongées d'une teinte jaune rougeâtre, répandues principalement près de leur surface supérieure; mais je crois que, sous ce rapport, elle peut varier; car j'en ai trouvé dont la couleur générale était d'un rouge assez intense, sans qu'elles m'aient offert, du reste, aucun caractère propre à les distinguer des premières. Quelquefois, on remarque aussi dans la substance de ces Amarouques, un grand nombre de points arrondis d'une teinte brune, tirant sur le vert ou sur l'orangé; mais ces taches ne sont qu'accidentelles, et dépendent de la présence de petits bols de matière fécale ou d'œufs prêts à éclore. La forme générale des masses que constituent ces Ascidies composées, varie aussi, et ces différences me paraissent dépendre de la nature des localités où elles se sont développées : tantôt elles s'étalent sans s'élever beaucoup, de façon à ressembler à une croûte épaisse, arrondie en dessous, et peu ou point lobulée(1); d'autres fois, elles s'allongent beaucoup, deviennent subpédiculées, et offrent souvent des divisions profondes, qui les partagent en plusieurs lobules digitiformes, plus ou moins distincts (2). Or, la première de ces deux variétés se rencontre d'ordinaire à la surface supérieure de quelque corps sous-marin, tandis que je n'ai observé la seconde que lorsque ces animaux croissent à la surface inférieure de quel-

(1) Pl. 1, fig. 3ª.

(2) Pl. 1, fig. 3, et pl. 3, fig. 2.

que portion saillante de rocher, de façon à y être pendants et à se trouver dans la position inverse des premières. Le tissu tégumentaire commun est mou et peu coriace, si ce n'est vers la base des masses, où il acquiert souvent une consistance très-grande. Les individus qui s'y trouvent empâtés se distinguent facilement à la couleur rougeâtre de leur thorax, et produisent les taches allongées dont il a déjà été question; ils sont groupés sans ordre apparent autour d'un ou de plusieurs cloaques communs, et les systèmes qu'ils forment ainsi, n'ont pas de circonscription appréciable. Pendant la vie, les orifices fécaux par lesquels ces cloaques communs débouchent au dehors, sont béants et s'aperçoivent aisément; leur forme est arrondie et leurs bords épais : mais après la mort, ils se contractent, ou bien leurs bords s'affaissent, de façon qu'il est souvent très-difficile d'en constater l'existence. Enfin, lorsque ces petits animaux dilatent leur bouche, la partie supérieure de leur corps s'élève de façon à bosseler légèrement la surface générale de la masse, et ils font saillir au dehors une couronne membraneuse, dont le bord libre est découpé en six lobules réguliers (1); dans l'intérieur de l'orifice buccal et vers le bord inférieur de cette couronne, on distingue aussi, à l'aide de la loupe, une série de petits filaments tentaculaires, qui se dirigent vers le centre de l'ouverture, comme les rayons d'une roue, et qui sont ordinairement au nombre de neuf ou dix, mais diffèrent beaucoup entre eux par leur longueur, les uns étant presque rudimentaires, tandis que les autres, alternant avec les premiers, sont assez longs pour se rencontrer.

(1) Pl. 3, fig. 2^b.

Ainsi que je l'ai déjà dit, la conformation individuelle de ces Ascidies est essentiellement la même que celle des Aplides, si bien étudiée par M. Savigny (1), et ressemble beaucoup à celle des Clavelines, dont il a été traité longuement dans les paragraphes précédents ; il est seulement à noter que chez les Amarouques, de même que chez toutes les autres Ascidies composées, la tunique externe est représentée par le tissu tégumentaire commun à toute l'association, de façon que c'est l'analogue de la tunique interne des Clavelines qui constitue la première enveloppe particulière du corps ; du reste, cette tunique présente aussi des traces de fibres musculaires, et affecte la forme d'un long sac, dont l'extrémité supérieure est occupée par la bouche et l'anus (2). Ces deux orifices sont placés à peu près de même que chez les Clavelines; mais les bords du premier sont lobulés, et le second est surmonté d'une languette membraneuse (3), qui est dirigée horizontalement en arrière et qui concourt à former la voûte du cloaque commun. Entre ces deux ouvertures, on remarque aussi un petit tubercule gangliforme (4); et la disposition du thorax ne présente rien de nouveau, si ce n'est que le sac branchial, de couleur rouge orangé, n'est garni que de dix ou onze rangées transversales de fentes intervasculaires, et que la crête correspondante au bord antérieur du sinus branchial paraît être dépourvue de languettes membraneuses. L'abdomen, comme je l'ai déjà dit, est divisé en deux portions, dont l'une courte

(1) Op. cit. Pl. 16 et 17.
(2) Pl. 3, fig. 2^c.
(3) *i'*, fig. 2^a, pl. 3.
(4) *j*, fig. 2^a, pl. 3.

et arrondie, n'est séparée du thorax que par un léger étranglement et loge l'appareil digestif. L'œsophage est très-court, et l'estomac (1) qui y fait suite, et qui est de couleur jaune, est marqué d'une série de plis verticaux, dont les bords, examinés au microscope, paraissent être garnis de follicules sécréteurs. L'intestin se divise en trois portions, comme chez les Clavelines, et ne présente rien de particulier, si ce n'est que le rectum remonte jusque vers le milieu du cloaque. L'abdomen inférieur fait suite à l'extrémité inférieure de l'abdomen supérieur, et n'en est ordinairement que peu distinct; il est au moins deux fois aussi long que le thorax, et se termine par deux petits prolongements coniques. Une masse blanchâtre, formée par les vésicules testiculaires et par l'ovaire, en occupe presque tout l'intérieur, et donne naissance à un conduit filiforme, qui remonte latéralement entre l'intestin et l'estomac, pour aller déboucher dans le cloaque; la portion inférieure de cette masse viscérale est formée principalement par le testicule, et en automne se trouve gorgée de zoospermes; l'ovaire paraît en occuper la partie supérieure, et dans ce point on voit souvent des œufs assez volumineux (2), dont les uns sont blanchâtres, les autres jaunes, et d'autres encore de couleur brune. Enfin, le cœur est situé au-dessous de l'appareil générateur, à l'extrémité inférieure du corps, et a la forme d'un tube membraneux recourbé sur lui-même en manière d'anse (3).

Une autre Amarouque, qui est très-voisine de la précédente,

---

(1) *l*, fig. 2ª, pl. 3

(2) *p*, fig. 2ª, pl. 3.

(3) *o*, fig. 2ª, pl. 3.

mais qui me paraît devoir en être distinguée spécifiquement, se trouve également au milieu des rochers de Tatihou, et se fait remarquer par sa couleur blanche. Elle se présente aussi sous la forme de petites masses subcartilagineuses, tantôt arrondies et un peu déprimées (1), tantôt subpédiculées, lobulées et plus ou moins renflées vers le bout (2), suivant qu'elle repose sur un corps solide et qu'elle s'est, pour ainsi dire, tassée en se développant, ou bien que, étant suspendue par son extrémité basilaire sous quelque voûte naturelle, elle s'est beaucoup allongée en prenant de l'accroissement. La teinte générale de ses masses est légèrement grisâtre, et au lieu des taches rouges ou jaunes qui, dans l'espèce précédente, marquent les places occupées par les divers individus, on remarque ici des taches presque incolores et semi-transparentes; quelquefois on distingue aussi à travers le tissu commun une ou deux grosses taches jaunes, situées assez profondément; mais elles ne sont pas permanentes et dépendent seulement de la présence de quelque amas d'œufs vers le fond des cloaques communs. D'après cela, on peut prévoir que le thorax de ces animaux ne peut être coloré comme chez l'Amarouque prolifère. En effet, il est incolore et transparent, et l'estomac n'est aussi que faiblement teinté. Dans tous les individus que j'ai examinés, la languette membraneuse placée au-dessus de l'anus, m'a offert trois divisions lobulaires, disposition que je n'ai jamais aperçue chez l'Amarouque prolifère; enfin, le post-abdomen était plus grêle que dans l'espèce précédente; mais, du reste, la structure de cette Ascidie, à laquelle je

(1) Pl. 1, fig. 3^b ×.
(2) Pl. 1, fig. 3^b ⊙.

donne le nom d'AMAROUQUE BLANCHATRE(1), ne m'a offert rien de particulier.

C'est aussi dans cette division générique que doit se placer une autre Ascidie composée, qu'au premier abord on pourrait facilement prendre pour un Botrylle; elle forme des masses encroûtantes assez épaisses, mais toujours beaucoup plus larges que hautes, dont la teinte générale est d'un rose tendre tirant sur le jaune vers le bas (2). Ici les groupes ou systèmes d'individus réunis autour d'un cloaque commun sont peu nombreux, et sont en général disposés sur un seul rang, de façon à représenter une ellipse plus ou moins allongée (3); ces systèmes ont en même temps une circonscription bien distincte, et la même masse en renferme presque toujours plusieurs. En général, l'orifice du cloaque commun n'occupe pas le centre de ces groupes, mais se trouve presque à l'une de leurs extrémités, et communique avec les individus situés à l'autre bout du groupe, à l'aide d'un canal intérieur; ses bords sont minces et s'étendent un peu en forme de cône tronqué. L'ouverture orale de ces Ascidies est peu saillante, et les lobes de sa bordure membraneuse sont obtus et de couleur blanchâtre, de façon qu'ils constituent autour de la bouche un cercle de six taches arrondies, dont la blancheur contraste avec la teinte rose du fond; le cercle tentaculaire situé au fond de cette ouverture est plus développé que dans les espèces précédentes; on y compte douze filaments, dont six grands et six petits. Une strie blanchâtre se prolonge aussi du voisinage

(1) *Amaroucium albicans Nob.*

(2) *Amaroucium Nordmannii.* Pl. 1, fig. 5.

(3) Pl. 1, fig. 5ª.

de la bouche vers le cloaque commun, et une seconde de même teinte se voit du côté opposé et correspond à la ligne ventrale du thorax. Le tissu tégumentaire commun est jaunâtre, et la couleur rose qui domine dans la partie supérieure de la masse dépend principalement de la teinte de la portion thoracique du corps de ces Ascidiens. La forme générale de ceux-ci est plus trapue que dans les espèces précédentes (1); le sac branchial est garni de douze rangées de lamelles vasculaires; l'œsophage est très-court, l'estomac est ridé comme chez l'Amarouque prolifère; enfin, le post-abdomen est gros et très-court. J'ai rencontré cette espèce à Roscoff, aux îles Chausay et à la Hougue; mais elle ne m'a jamais paru être très-connue; je la désignerai sous le nom d'AMAROUQUE DE NORDMANN, en l'honneur de l'habile zoologiste qui se trouvait avec moi à La Hougue lorsque je faisais l'anatomie de ce Tunicier.

Une quatrième espèce de Polyclinien unistellé habite également les côtes de la Hougue, des îles Chausay, etc., et semble se rapprocher des Synoïques de Phipps (2), tant les petites masses qu'elle constitue s'allongent et deviennent pédiculées, quand elles se trouvent suspendues à la face inférieure de quelque partie saillante d'un rocher ou sous quelque grosse pierre dont la base ne touche pas le sol; elles sont alors tout à fait claviformes (3); mais lorsque leur corps se développe contre l'effet de la pesanteur, elles s'élargissent davantage et ne sont plus pédiculées. Si l'on poussait les divisions

(1) Pl. 3, fig. 3 et 3ᵃ.

(2) *Voyage au pôle boréal.* Pl. 13, fig. 3. — Savigny, op. cit., page 180. Pl. 3, fig. 3, et pl. 15.

(3) *Amaroucium argus Nob.* Pl. 1, fig. 4.

génériques aussi loin que l'a fait M. Savigny, il faudrait former un genre nouveau pour cette Ascidie, car tout en ressemblant aux Amarouques ordinaires par les principaux traits de on organisation, elle en diffère par une particularité analogue à celle sur laquelle repose la distinction établie par ce savant entre ses Aplides et ses Sidnies. En effet, les parois de l'estomac présentent, au lieu de plis longitudinaux, une multitude de petits compartiments qui ont l'aspect d'alvéoles et qui paraissent être garnis tout autour de lamelles ou replis rayonnants (1). Mais si l'on descendait à des caractères de cet ordre pour en faire la base des divisions génériques, on serait conduit à multiplier inutilement ces coupes et on rendrait les déterminations d'une difficulté extrême. Je rangerai, par conséquent, cette espèce dans le même genre que les précédentes, et je la désignerai sous le nom d'AMAROUQUE ARGUS. Sa couleur générale est d'un jaune olivâtre vers la base de la masse commune, et tirant sur l'orangé vers son extrémité libre; mais sa surface terminale (ou buccale) est presque blanche et présente une multitude de petits points roses. Les individus sont groupés à peu près circulairement autour d'un cloaque commun (2); en général ils forment ainsi plusieurs rangées irrégulières, et il n'existe qu'un seul de ces systèmes par masse; mais quelquefois on en trouve deux ou un plus grand nombre, et alors la circonscription de ceux-ci est peu distincte. Chaque individu fait une saillie considérable à la surface de la masse commune, et le bord de l'ouverture buccale est profondément divisé en six lobes à peu près triangulaires.

(1) Pl. 3, fig. 1, 1^a, 1^b.
(2) Pl. 1, fig. 4^a.

C'est autour de la base de cette couronne denticulée que se trouvent les petites taches roses dont il a déjà été question; on en compte quatre pour chaque animal, et si les opinions de M. Ehrenberg, relatives à la nature des points colorés dont un grand nombre de zoophytes sont pourvus, venaient à être confirmées, il faudrait considérer aussi ces taches comme étant des *points oculiformes*. Quant à la structure individuelle de ces animaux, elle n'offre du reste aucune particularité importante; le thorax (1) est conformé de même que dans les espèces précédentes; seulement il n'est pas coloré, et le sac branchial n'offre que dix rangées de stigmates ou fentes intervasculaires; l'œsophage est rougeâtre; l'estomac est fortement coloré en jaune; la première portion de l'intestin ou duodénum est grisâtre, et la seconde portion ou le ventricule chylifique est rouge comme l'œsophage, tandis que le rectum est de nouveau presque incolore; enfin le post-abdomen est gros et a le plus ordinairement environ une fois et demie la longueur du thorax.

Les Polyclines proprement dites, qui jusqu'ici n'avaient été rencontrées que dans des mers plus chaudes, sont représentées aux environs de la Hougue par une espèce que je ne vois décrite dans aucun ouvrage et que je désignerai sous le nom de *Polycline orange*, à raison de sa forme arrondie et de sa couleur jaune foncé. Cette espèce nouvelle (2) constitue de petites masses plus ou moins sphériques qui sont

(1) Pl. 3, fig. 1.

(2) *Polyclinum aurantium Nob.* Pl. 1, fig. 6.

fixées aux rochers par un pédoncule court et gros, et qui, vues à l'œil nu, ne laissent pas distinguer les animaux dont elles se composent; mais en les examinant à l'aide d'une forte loupe, on distingue à leur surface une multitude de petits trous rangés par séries linéaires, de façon à représenter un nombre considérable d'ellipses groupées autour d'un trou central assez grand pour être facilement aperçu sans le secours d'une lentille (1); ces espèces de pores sont les bouches d'autant d'animaux réunis en une masse commune, et le trou central dont il vient d'être question est le cloaque commun dans lequel viennent déboucher les ouvertures anales de toutes les Ascidies groupées à l'entour. Quelquefois la masse tout entière n'offre qu'un seul de ces groupes ou systèmes; mais, en général, on y reconnaît plusieurs groupes pourvus chacun de leur cloaque commun. La bouche est très-contractile et entourée d'une bordure membraneuse qui, lors de la dilatation de cet orifice, s'élève en manière de couronne, et qui porte sur son bord libre six petits prolongements digitiformes très-courts (2), mais n'est pas profondément lobulée comme dans les espèces figurées par M. Savigny. Le tissu tégumentaire qui constitue la portion commune de ces agrégations, et qui peut être comparé au polypier des polypes agrégés, est d'une consistance coriace, et laisse pour chaque individu une sorte de loge divisée en trois chambres par des étranglements; caractère qui est commun à toutes les espèces du genre Polycline et qui lui a valu le nom qu'il porte. Quant à la con-

(1) Pl. 3, fig. 4.
(2) Pl. 3, fig. 4ᵃ.

formation individuelle de ces Ascidies, elle ne s'éloigne que peu de celle des espèces si bien étudiées par M. Savigny (1). Le corps (2) est divisé comme d'ordinaire en trois portions bien distinctes, qui correspondent aux trois cellules superposées dont nous venons de parler : un thorax, un abdomen supérieur et un abdomen inférieur ou post-abdomen. Le thorax est moins allongé que dans la plupart des Polyclines, et le sac respiratoire qui en occupe l'intérieur n'offre que treize rangées de fentes branchiales; l'abdomen supérieur n'est séparé du thorax que par un rétrécissement faible et de peu d'étendue; enfin le post-abdomen est attaché à la partie latérale de l'abdomen supérieur par un pédoncule étroit; disposition qui constitue un des traits caractéristiques du genre, et il est seulement à noter que cette portion inférieure du corps est beaucoup plus allongée que dans toutes les autres espèces du même groupe. Si l'on compare notre Polycline orange avec les espèces dont l'organisation intérieure nous est connue par les observations de nos prédécesseurs, on verra que c'est avec une espèce propre aux côtes de l'île de France, la Polycline constellée (3), qu'elle a le plus de ressemblance; mais elle s'en distingue par des caractères importants.

§ V.

La TRIBU DES DIDEMNIENS est formée, ainsi que nous l'a-

(1) Op. cit. Pl. 18 et 19.

(2) Pl. 3, fig. 4^b.

(3) Savigny, Op. cit., page 189. Pl. 4, fig. 2, et pl. 18, fig. 1.

vons déjà dit, de toutes les Ascidies composées, dont le corps est bien distinctement divisé en deux portions, un thorax et un abdomen (1); elle se rapproche extrêmement des Clavelines, et se distingue de la tribu des Polycliniens par l'absence d'un post-abdomen et par la position de l'appareil de la génération et du cœur, qui se trouvent remontés à côté de l'intestin.

Ces animaux présentent entre eux des différences analogues à celles d'après lesquelles j'ai divisé la tribu des Polycliniens, et me semblent devoir être également répartis en deux groupes, suivant que l'anus est étoilé comme la bouche ou bien dépourvu d'une couronne de lobules marginaux. La première de ces divisions, que l'on pourrait appeler celle des Didemniens bistellés, comprend les Distomes et les Diazones, par lesquels le passage s'établit entre les Clavelines et les Ascidies composées; la seconde division, celle des Didemniens unistellés, a pour type les genres Didemne et Eucælie de M. Savigny.

Le genre DIDEMNE (2), comme on le sait, est caractérisé par l'existence des rayons réguliers autour de l'ouverture branchiale, l'absence de cavités centrales pour les divers systèmes d'animaux (ou de cloaques communs), et par la conformation de la masse commune, qui est sessile, fongueuse et incrustante. Je crois devoir y rapporter une Ascidie que j'ai trouvée sur des serpules, en draguant, près des îles Saint-Marcouff, et que je nommerai DIDEMNE GÉLATINEUX (3).

---

(1) Pl. 7, fig. 5^a, 5^b, etc.; pl. 8, 1^c, 2^a.

(2) Savigny, Op. cit., page 138 et 194.

(3) *Didemnum gelatinosum Nob.* Pl. 7, fig. 5.

Elle se présente sous la forme d'une croûte mince, visqueuse et incolore, dans l'épaisseur de laquelle se voient une multitude de petits points jaunes, produits par les animaux qui s'y trouvent réunis, sans présenter entre eux aucun ordre appréciable. Ceux-ci (1) ont le bord de la bouche divisé en six petits lobes obtus, et ont l'ouverture anale située tout auprès; le thorax est gros et n'offre que cinq rangées transversales de stigmates branchiaux; l'abdomen est séparé du thorax par un pédicule bien marqué, et se replie contre son extrémité inférieure; il n'y a pas de post-abdomen distinct, et l'ovaire, placé sur le côté de l'anse intestinale, ne le dépasse bien notablement en dessous que lorsque les œufs sont très-développés. Ceux-ci acquièrent des dimensions très-considérables et paraissent quelquefois prêts à rompre les membranes dont ils sont recouverts, et à s'échapper dans la masse tégumentaire commune (2). Enfin, on voit aussi chez beaucoup de ces animaux des bourgeons reproducteurs, qui naissent de divers points de la surface de l'abdomen, et qui, d'abord radiciformes, se renflent bientôt à leur extrémité (3).

La plupart des espèces de Didemniens que j'ai rencontrées sur les côtes de la Manche, offrent bien, comme la précédente, la conformation générale propre au genre Didemne de M. Savigny, mais s'en distinguent, ainsi que du genre Eucælie, par un caractère que j'ai déjà signalé chez certains Polycliniens : l'orifice anal, au lieu de s'ouvrir

(1) Pl. 5, fig. 5^b, etc.
(2) Pl. 7, fig. 5^a, 5^c.
(3) t', fig. 5^d et 5^e, pl. 7.

isolément à la surface externe de la masse commune, débouche dans des cloaques communs, plus ou moins rameux, de la même manière que chez les Amarouques. Or, les Didemniens qui offrent ce mode de conformation, ne peuvent évidemment prendre place dans aucune division déjà établie, et je proposerai de les réunir en un genre particulier, auquel je donnerai le nom de LEPTOCLINE, à raison de la minceur de la masse commune, servant de lit à ces petits êtres.

Une des espèces les plus communes et les plus remarquables de ce genre, est le LEPTOCLINE MACULÉ (1), qui se trouve ordinairement sur les pieds des grandes laminaires des côtes de la Manche. Elle se présente sous la forme d'une croûte mince, mais dure et très-coriace, agréablement variée de blanc et de violet. Sa surface est quelquefois un peu bosselée, et on y remarque un grand nombre de stries irrégulières, de couleur brune ou violacée, qui paraissent correspondre aux canaux par lesquels les différents individus d'un même système communiquent avec les cloaques communs. La substance du tissu commun est farcie de granules calcaires, qui, vus à l'aide d'une loupe ordinaire, paraissent être de petites concrétions sphériques, mais qui sont seulement des agrégations de petits cristaux pyramidaux, réunis par leur base, de façon à représenter une étoile à plusieurs rayons, surmontée sur chacune de ses faces d'un groupe d'autres rayons semblables aux premiers, quoique plus petits (2); pour s'en assurer, il

(1) *Leptoclinum maculosum Nob.*, pl. 8, fig. 2.

(2) Pl. 8, fig. 2^b.

suffit d'isoler quelques-uns de ces granules et de les examiner au microscope. Les ouvertures buccales sont disposées à peu près en quinconce et deviennent presque imperceptibles lors de leur contraction ; mais lorsqu'elles se dilatent, elles sont assez grandes, et leur bord membraneux et légèrement saillant se découpe en six lobules arrondis. Quant à la structure intérieure des individus réunis par ce tissu tégumentaire commun, elle est essentiellement la même que celle des Didemniens, ainsi qu'on peut le voir par les figures jointes à ce mémoire (1).

Je désignerai sous le nom de LEPTOCLINE RUDE (2), un autre Didemnien qui est très-voisin de l'espèce précédente, et qui peut-être même n'en est qu'une variété, mais qui en diffère par l'existence d'un gros tubercule conique, situé auprès de chacun des orifices buccaux, dont la surface de la masse commune est parsemée ; cette masse présente, du reste, la même conformation que chez le Leptocline maculé : il est seulement à noter que sa couleur est en général blanchâtre. On trouve le Leptocline rude dans les mêmes localités que l'espèce précédente.

Une troisième espèce de Leptocline, qui ressemble aux deux précédentes, par la minceur et la consistance des croûtes qu'elle forme, se reconnaît à sa couleur uniforme d'un jaune chamois. Elle se trouve adhérente aux pierres qui bordent l'île de Tatihou, et je la désignerai sous le nom de LEPTOCLINE CORIACE (3). Les orifices buccaux sont plus rap-

(1) Pl. 8, fig. 2^a.

(2) *Leptoclinum asperum Nob.*, pl. 8, fig. 3, 3^a.

(3) *Leptoclinum durum Nob.*, pl. 8, fig. 4, 4^a.

prochés que dans l'espèce précédente et plus profondément lobulés; ces orifices sont garnis d'une bordure membraneuse, divisée en six dents qui s'élèvent quelquefois en manière de couronne, ainsi que cela se voit en *a* dans la fig. 4ª, pl. 8. Mais, en général, cette bordure ne saille pas au dehors, et alors l'ouverture buccale paraît avoir seulement des bords épais, et divisés en six lobes arrondis (comme en *b*, dans la figure déjà citée). Quant aux animaux, considérés individuellement, ils ne m'ont offert rien de particulier, si ce n'est que le pédicule situé entre le thorax et l'abdomen est plus court que dans le Leptocline maculé.

Une quatrième espèce, qui se trouve dans les mêmes localités que les précédentes, est le LEPTOCLINE ÉCLATANT (1), que je nomme ainsi à cause de sa belle couleur d'un rouge de saturne; elle ressemble du reste beaucoup à l'espèce précédente.

Enfin, j'appellerai LEPTOCLINE GÉLATINEUX (2), une cinquième espèce qui se distingue facilement des précédentes par la consistance gélatineuse et la semi-transparence de son tissu tégumentaire commun. Les individus, ayant les viscères abdominaux seuls colorés en jaune, sont rangés irrégulièrement autour des cloaques communs, et ont le bord supérieur de l'ouverture buccale profondément divisé en lobules (3); on aperçoit aussi autour du bord inférieur de cet orifice une série de tentacules filiformes, dont le nombre est ordinairement de douze, et dont les uns sont grands

(1) *Leptoclinum fulgens Nob.*, pl. 8, fig. 5.

(2) *Leptoclinum gelatinosum Nob.*, pl. 8, fig. 1, 1ª.

(3) Pl. 8, fig. 1ª.

et les autres petits; mais sans que ces deux sortes d'appendices alternent entre eux aussi régulièrement que chez les Polycliniens. Le sac branchial est garni de cinq rangées de fentes stigmatiformes, et l'abdomen appliqué contre l'extrémité inférieure du thorax est à peine pédiculé (1).

L'Ascidie composée, mentionnée par M. Lister (2), comme étant un Polycline appartenant évidemment à mon genre LEPTOCLINE, ressemble beaucoup à l'espèce précédente, mais s'en distingue par l'existence d'un cercle de taches autour de l'orifice buccal, disposition qui n'existe pas chez le Leptocline gélatineux.

§ VI.

La TRIBU DES BOTRYLLIENS comprend les Ascidies composées qui, réunies par systèmes autour de cloaques communs, n'ont pas le corps divisé en un thorax et un abdomen distincts; les viscères étant refoulés en avant sur le côté de la chambre branchiale (3).

Jusqu'ici toutes les Ascidies composées qui présentent ces caractères ont été réunies en un seul genre, celui des Botrylles; mais dans l'état actuel de la science il me paraîtrait utile d'en former deux groupes génériques, car on y remarque des différences considérables que la classification me semble

---

(1) Pl. 8, fig. 1^{b} et 1^{c}.

(2) *Philos. Trans.*, 1834, part. II, page 382, pl. 12, fig. 1. Je proposerai de dédier cette espèce à l'observateur judicieux qui l'a fait connaître; on pourrait par conséquent la nommer *Leptoclinum Listerianum.*

(3) Pl. 6 et pl. 7, fig. 1 à 4.

devoir signaler. Effectivement, chez les uns (1), les divers individus composant chaque système, sont réunis en cercle ou en ovale autour d'un cloaque commun, simple et en forme de fossette à bords relevés, d'où résulte pour chacune de ces agrégations la forme d'une étoile à plusieurs branches; chez les autres (2), les cloaques se continuent dans la masse commune sous la forme de canaux intérieurs, de chaque côté desquels les individus se trouvent rangés en séries linéaires, de sorte que l'aspect étoilé ne se retrouve plus dans les systèmes ainsi disposés. Il est aussi à noter que chez les premiers, auxquels il convient de conserver le nom de *Botrylle*, le corps de ces petits animaux est couché presque horizontalement, et l'anus est très-éloigné de la bouche (3), tandis que chez les seconds, dont je proposerai de former le genre Botrylloïde, le corps est placé presque verticalement, et les deux orifices sont très-rapprochés l'un de l'autre (4).

L'espèce de ce dernier groupe que j'ai rencontré le plus communément sur nos côtes, est le Botrylloïde rotifère (5). Cet Ascidien vit sur les rochers et sur les fucus, aux environs de Langrune, de Saint-Vaast, etc., et se compose de systèmes irréguliers à individus très-nombreux dont la partie antérieure du corps ne s'élève que peu. Le tissu tégumentaire commun est de consistance gélatineuse et d'une teinte jaunâtre. La tunique des divers individus,

(1) Pl. 6, fig. 4, 4^a, 5, 5^a, 6, 6^a, 7, 7^a.
(2) Pl. 6, fig. 1, 1^a, 2, 3, 3^a.
(3) Pl. 7, fig. 3, 4.
(4) Pl. 7, fig. 1 et 2.
(5) *Botrylloides rotifera Nob.*, pl 6, fig. 1 et 1^a.

ainsi réunis, n'est pas opaque et uniformément teinte en rouge comme dans un autre Botrylloïde dont j'aurai bientôt à parler, mais est semi-transparente et ornée d'une multitude de petits points rouges qui deviennent assez serrés entre eux autour de la bouche, autour du bord supérieur du sac branchial et sur la ligne correspondante aux replis longitudinaux dont ce sac est garni intérieurement; il en résulte autour de l'ouverture buccale de chacun de ces petits êtres un double anneau ponctué de rouge, et dans l'espace compris entre ces anneaux huit lignes divergentes qui représentent assez bien les rayons d'une roue. La ligne de démarcation entre les divers individus d'un même système, n'est pas toujours bien distincte. L'orifice extérieur du cloaque commun est entouré immédiatement par environ six ou huit individus seulement; mais il naît de cette cavité une ou plusieurs branches latérales, de chaque côté desquelles se trouvent d'autres individus rangés avec assez de régularité, avec l'extrémité anale dirigée en dedans, et vers le centre commun du système. L'orifice buccal de ces animaux est grand, et présente en dedans un cercle de filaments tentaculiformes dont quatre sont toujours assez développés, tandis que les autres, en nombre variable, sont toujours rudimentaires. Le sac respiratoire présente dix rangées verticales de stigmates branchiaux, séparés entre eux de trois en trois, par un repli vertical (1); on compte neuf de ces ouvertures, en forme de boutonnière, sur chaque rangée latérale, et on remarque à chacun de leurs quatre angles un petit tubercule. L'estomac est pyriforme et divisé en

(1) Pl. 7, fig. 1 et 1ᵉ, *e*.

sept ou huit lobes par des sillons qui se portent horizontalement de son extrémité cardiaque vers le pylore. L'intestin est recourbé en ∽, et se divise en trois portions dont la première est lisse et transparente (1), la seconde est entourée d'un tissu granuleux (2), et la troisième (3) est de nouveau membraneuse. Une masse glandulaire (4), qui paraît être un organe hépatique, est couchée sur le commencement de la troisième portion de l'intestin, et donne naissance à plusieurs petits canaux excréteurs qui se réunissent bientôt en un seul tronc, lequel paraît déboucher dans l'intestin près du pylore (5). Au-dessous de cet organe, et plus en arrière, on aperçoit une autre masse glandulaire qui paraît appartenir à l'appareil de la génération et qui m'a semblé donner naissance à un petit canal dirigé vers le cloaque (6). Le cœur (7) est situé latéralement et repose sur le côté cardiaque de l'estomac. Enfin la portion inférieure de la tunique propre donne naissance à des prolongements radiciformes qui s'avancent dans le tissu commun, se ramifient et portent à l'extrémité de leurs divisions des renflements pyriformes destinés à devenir de nouveaux individus (8).

Une seconde espèce appartenant à la même division générique se rencontre également aux environs de Saint-Vaast et

---

(1) *m*, fig. 1^a, pl. 7.
(2) *m'*, fig. 1^a, pl. 7.
(3) *m''*, fig. 1^a, pl. 7.
(4) *x*, fig. 1^a, pl. 7.
(5) *x'*, fig. 1^a, pl. 7.
(6) *q*, *r*, fig. 1^a, pl. 7.
(7) *o*, fig. 1, pl. 7.
(8) *t*, *t'*, fig. 1, 1^b, 1^c, pl. 7.

se fait remarquer par sa couleur éclatante. Je la désignerai sous le nom de Botrylloïde rouge (1), et, pour la distinguer de l'espèce précédente, il me suffira de dire que la tunique propre de ces petits Ascidiens est opaque et partout d'un rouge de saturne très-intense. Il est aussi à noter que la circonscription des divers systèmes réunis dans une même masse est beaucoup plus distincte que chez le Botrylloïde rotifère; que la démarcation entre les individus d'un même système est également bien apparente; que l'extrémité antérieure du corps de ceux-ci s'élève beaucoup en forme de mamelons, et que les filaments tentaculaires sont assez développés. Quant à la structure intérieure de ces animaux (2), elle ne m'a présenté rien de particulier.

J'ai trouvé aussi sur les côtes de la Normandie, mais dans une localité différente (sur les rochers du Calvados, vis-à-vis le village de Langrune), un autre Botrylloïde qui est évidemment très-voisin de ceux dont je viens de faire la description, surtout du Botrylloïde rotifère, mais qui me paraît devoir en être distingué spécifiquement à cause de sa couleur blanchâtre légèrement teintée de rose, et de quelques autres caractères, tels que la grandeur des tentacules buccaux et la forme plus allongée du corps. On pourra désigner cette espèce sous le nom de Botrylloïde blanchatre (3).

Le *Botryllus Leachii* de M. Savigny (4) appartient également à ce genre, et diffère des espèces précédentes par

---

(1) *Botrylloides rubrum*, pl. 6, fig. 3, 3ᵃ.

(2) Pl. 7, fig. 2.

(3) *Botrylloides albicans Nob.*, pl. 6, fig. 2.

(4) Op. cit., page 199, pl. 4, fig. 6; et pl. 20, fig. 4.

plusieurs caractères; entre autres par le nombre beaucoup plus considérable des fentes branchiales. Il me paraît probable que le *Botryllus rosaceus* du même auteur (1) devra aussi prendre place dans cette nouvelle division générique.

Nos côtes sont très-riches en Botrylles proprement dits; M. Savigny en a décrit plusieurs avec tout le soin minutieux qui distingue ses travaux, mais la plupart des espèces des côtes de la Manche me paraissent encore inédites : de ce nombre est un Botrylle qui est extrêmement commun aux environs de Saint-Vaast et qui ressemble beaucoup au *Botryllus gemmeus* de M. Savigny (2).

Chez celui-ci (3) le tissu commun est d'une teinte brunâtre, et les étoiles assez régulières, formées par la réunion d'environ six ou huit individus en cercle autour d'un petit cloaque commun, présentent trois zones bien distinctes; la zone extérieure, d'une teinte violacée, est formée par l'extrémité renflée de ces petits êtres et loge les orifices buccaux ; la zone moyenne, d'un jaune vif, est divisée en petits compartiments par une série de lignes violacées qui constituent pour chaque individu du système une petite étoile à six branches; enfin, la zone interne est formée par un fond violacé, parsemée de petits points jaunes qui se prononcent surtout autour de l'orifice du cloaque commun, et au-dessus la ligne médiane de chaque individu, de façon à représenter vaguement une étoile à plusieurs branches.

Dans l'espèce nouvelle, que je nommerai le Botrylle vio-

(1) Op. cit., page 198.
(2) Op. cit., page 203.
(3) Pl. 6, fig. 5 et 5ª.

LACÉ (1), le tissu tégumentaire commun est plus pâle, et la tunique propre de chaque Ascidien, groupé comme dans l'espèce précédente, est presque entièrement d'un bleu foncé tirant sur le violet; seulement autour du cloaque commun, et dans les deux tiers de l'espace compris entre cette ouverture et la bouche, se trouve de chaque côté de la ligne médiane une tache d'un blanc jaunâtre; il en résulte que chaque système ressemble à une double rosace dont les lobes marginaux seraient violets et les lobes intérieurs blanchâtres avec une nervure longitudinale violacée.

Dans le Botrylle violacé, ainsi que dans le Botrylle doré, les animaux sont de petite taille et la bouche médiocrement dilatable; les tentacules buccaux sont en même temps presque rudimentaires, de façon qu'il est très-difficile de les apercevoir, mais dans la première de ces deux espèces leur nombre paraît être plus considérable que d'ordinaire. Lorsqu'on dissèque un Botrylle violacé, on remarque aussi à droite et à gauche de l'ouverture buccale un petit tubercule ganglifforme, situé à distance à peu près égale de l'extrémité supérieure du sinus ventral et du petit noyau dorsal qui semble devoir être considéré comme un ganglion nerveux (2). Le sac respiratoire, couché presque horizontalement, offre de chaque côté neuf rangées transversales de stigmates branchiaux séparés de trois en trois par des replis longitudinaux. Enfin l'estomac est petit, et l'intestin est fortement recourbé en forme de ∽ renversé (3).

(1) *Botryllus violaceus*, pl. 6, fig. 4, 4^a.

(2) Pl. 7, fig. 3^b.

(3) Pl. 7, fig. 3^c.

Je ne puis rapporter à aucune espèce décrite par les naturalistes un autre Botrylle qui se trouve également sur les fucus près de Saint-Vaast, et qui se fait remarquer par ses belles couleurs jaune et verte. Dans cette espèce, que j'appellerai le BOTRYLLE ÉMERAUDE (1), la disposition des systèmes est la même que chez les précédentes, mais les individus dont les groupes se composent sont beaucoup plus grands et se distinguent aussi par la dilatabilité considérable de leur ouverture buccale, au-dessous de laquelle on aperçoit facilement, à l'entrée de la cavité thoracique, une couronne de quatre tentacules filiformes assez longs. La couleur générale de la tunique propre de chaque individu est d'un vert plus ou moins intense, et souvent fort brillant, mais le tour de la bouche est toujours très-pâle, quelquefois même jaunâtre, ainsi que les tentacules buccaux, et l'espace compris entre cet orifice et le bord du cloaque commun est occupé presque entièrement par une grande tache pyriforme divisée en petits compartiments par des lignes verdâtres dont une est médiane, et les autres se dirigent de celle-ci vers les côtés du corps; parmi ces dernières lignes, une, tout à fait transversale, forme avec la première une croix située à peu de distance du bord du cloaque, mais les autres, situées plus près de la bouche, rayonnent d'un centre commun, de façon à représenter une étoile, et au milieu de cette étoile se trouve une tache circulaire de couleur orangée. Quant à la structure anatomique de ces Botrylles, je n'y ai aperçu rien qui soit digne de remarque (2).

---

(1) *Botryllus smaragdus Nob.*, pl. 6, fig. 6, 6ª.

(2) Pl. 7, fig. 4.

Enfin je signalerai encore à l'attention des zoologistes une troisième espèce nouvelle de Botrylle (1) que j'ai trouvée à Langrune, et qui se reconnaît aux deux bandes jaunes étendues le long du dos de chaque individu depuis la bouche jusqu'au bord du cloaque commun ; la couleur générale de ces animaux, qui diffère peu de celle de leur tissu tégumentaire commun, est d'un jaune verdâtre terne, tandis que les bandes dont il vient d'être question sont d'un jaune vif et représentant tout à l'entour de l'orifice fécal une série de triangles.

Dans les divers voyages que j'ai faits sur nos côtes, j'ai eu l'occasion de m'assurer de l'existence de plusieurs autres espèces nouvelles d'Ascidies composées, mais ne pouvant en donner ici des figures sans trop multiplier le nombre des planches consacrées à ce mémoire, je n'ai pas cru devoir en faire la description ; par la suite, j'espère pouvoir combler cette lacune et présenter aussi les résultats de mes recherches sur la structure de plusieurs animaux de la même famille, qui n'habitent pas nos mers, et qui me sont connus, grâce à l'activité éclairée des voyageurs dont les collections ont depuis quelques années enrichi à un si haut degré le Muséum d'histoire naturelle. C'est alors seulement que je pourrai exposer l'ensemble des modifications que l'état actuel de nos connaissances me semble nécessiter dans la classification méthodique des Ascidies, car la discussion de plusieurs de ces questions serait prématurée ici.

---

(1) *Botryllus bivittatus Nob.*, pl. 6, fig. 7, 7ª.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Il ne m'a pas été possible de réunir toujours sur la même planche toutes les figures appartenant à une même espèce, et par conséquent il m'a paru utile de faire précéder l'explication détaillée de ces planches par l'indication méthodique des diverses figures qui se rapportent à chacune des espèces dont j'ai traité.

LISTE MÉTHODIQUE DES ESPÈCES.

TRIBU DES ASCIDIES SOCIALES.

Genre Claveline. *Clavelina*, Sav.

1. Claveline lépadiforme. *Clavelina lepadiformis*, Sav. (page 266), pl. 1, fig. 1, et pl. 2, fig. 1 à 1^h.
2. Claveline naine. *Clavelina pumilio*, E. (page 279), pl. 2, fig. 2, 2^a.
3. Claveline allongée. *Clavelina producta*, E. (page 278), pl. 1, fig. 2, et pl. 2, fig. 3, 3^a, 3^b.

TRIBU DES ASCIDIES COMPOSÉES.

SECTION DES POLYCLINIENS.

Genre Polycline. *Polyclinum*, Sav.

1. Polycline orange. *Polyclinum aurantium*, E. (page 292), pl. 1, fig. 6, et pl. 3, fig. 4, 4^a, 4^b.

Genre Amarouque. *Amaroucium*, E.

1. Amarouque prolifère. *Amaroucium proliferum*, E. (page 283), pl. 1, fig. 3, 3^a, et pl. 3, fig. 2, à 2^d.
2. Amarouque blanchâtre. *Amaroucium albicans*, E. (page 287), pl. 1, fig. 3^b.
3. Amarouque argus. *Amaroucium argus*, E. (page 290), pl. 1, fig. 4, 4^a; pl. 3, fig. 1, 1^a, 1^b.
4. Amarouque de Nordmann. *Amaroucium Nordmanni*, E. (page 289), pl. 1, fig. 5, 5^a; pl. 3, fig. 3 à 3^b.

SECTION DES DIDEMNIENS.

Genre Didemne. *Didemnum*, Sav.

1. Didemne gelatineux. *Didemnum gelatinosum*, E. (page 295), pl. 7, fig. 5 à 5^e.

Genre Leptocline. *Leptoclinum*, E.

1. Leptocline maculé. *Leptoclinum maculosum*, E. (page 297), pl. 8, fig. 2, 2^a, 2^b.
2. Leptocline rude. *Leptoclinum asperum*, E. (page 298), pl. 8, fig. 3, 3^a.
3. Leptocline coriace. *Leptoclinum durum*, E. (page 298), pl. 8, fig. 4, 4^a, 4^b.
4. Leptocline éclatant. *Leptoclinum fulgens*, E. (page 299), pl. 8, fig. 5, 5^a.
5. Leptocline gelatineux. *Leptoclinum gelatinosum*, E. (page 299), pl. 8, fig. 1 à 1^c.

SECTION DES BOTRYLLIENS.

Genre Botrylloïde. *Botrylloïdes*, E.

1. Botrylloïde rotifère. *Botrylloïdes rotifera*, E (page 301), pl. 6, fig. 1, 1^a, et pl. 7, fig. 1 à 1^c.

2. Botrylloïde rouge. *Botrylloïdes rubrum*, E. (page 303), pl. 6, fig. 3, 3^a, et pl. 7, fig. 2.

3. Botrylloïde blanchâtre. *Botrylloïdes albicans*, E. (page 304), pl. 6, fig. 2.

Genre Botrylle. *Botryllus.*

1. Botrylle violacé. *Botryllus violaceus*, E. (page 305), pl. 6, fig. 4, 4^a; pl. 7, fig. 3, 3^a, 3^b.

2. Botrylle doré. *Botryllus gemmeus*, Sav. (page 305), pl. 6, fig. 5, 5^a.

3. Botrylle émeraude. *Botryllus smaragdus*, E. (page 307), pl. 6, fig. 6, 6^a; pl. 7, fig. 4.

4. Botrylle à deux bandes. *Botryllus bivittatus*, E. (page 308), pl. 6, fig. 7, 7^a.

EXPLICATION DES FIGURES.

PLANCHE 1.

Fig. 1. Claveline lépadiforme. *Clavelina lepadiformis*, Sav. De grandeur naturelle.

Fig. 2. Claveline allongée. *Clavelina producta.* Edw. De grandeur naturelle.

Fig. 3. Amarouque prolifère. *Amaroucium proliferum*, E. De grandeur naturelle.

Fig. 3^a. Une masse de la même espèce grossie.

Fig. 3^b. Amarouque blanchatre. *Amaroucium albicans*, E. De grandeur naturelle.

× Une masse globuleuse trouvée sur la surface supérieure d'une pierre.

⊙ Masses pédiculées trouvées suspendues sous une portion saillante de rocher.

Fig. 4. Amarouque argus. *Amaroucium argus*, E. De grandeur naturelle.

Fig. 4ª. La même espèce grossie.

Fig. 5. Amarouque de Nordmann. *Amaroucium Nordmanni*, E. De grandeur naturelle.

Fig. 5ª. La même grossie.

Fig. 6. Polycline orange. *Polyclinum aurantium*, E. De grandeur naturelle.

PLANCHE 2.

Fig. 1. Anatomie de la Claveline lépadiforme. *Clavelina lepadiformis*, Savigny. L'animal vu de profil et grossi environ 6 fois.

A Thorax.

B Abdomen.

a Tunique externe ou membrane tégumentaire.

b Tunique interne.

c Bouche; au-dessous du bord labial on aperçoit, à l'intérieur, les filaments tentaculaires.

d Lignes formant un collier autour de la base de la bouche, et correspondant à un vaisseau qui établit la communication entre l'extrémité supérieure du sinus ventral et le sinus dorsal.

e Sac branchial.

e' Ligne granuleuse jaune correspondant au point d'union du bord supérieur du réseau branchial avec la tunique propre du thorax.

f Sinus ventral ou thoracique, bordé de chaque côté par une ligne jaune.

g Portion médio-dorsale du sac branchial, contenant le sinus dorsal et garni antérieurement d'une série de languettes.

h Cloaque.

h' Tunique thoracique formant la chambre thoracique et le cloaque.

i Anus.

i' Ligne granuleuse jaune entourant l'anus.

j Tubercule ayant l'apparence d'un ganglion nerveux.

k OEsophage.

k' Ligne granuleuse jaune correspondant à l'insertion du réseau branchial autour de l'œsophage.

l Estomac.

m Intestin.

n Terminaison de l'intestin dans le cloaque.

o Cœur.

p Ovaire.

q Testicule.

r Canal déférent.

r' Orifice du canal déférent dans le cloaque.

s Prolongements radiciformes de la tunique externe.

b' Prolongements analogues de la tunique interne.

t Tube naissant de la tunique interne, se continuant dans un des appendices radiciformes prolifères (*s'*), et parcouru par un double courant sanguin.

Fig. 1*a*. Le même, dépouillé de sa tunique externe, pour montrer les fibres musculaires de la tunique interne.

b' Fibres longitudinales. — *c'* Sphincter buccal. — *i''* Sphincter anal. — *f* Sinus ventral.

Fig. 1*b*. Extrémité antérieure du corps beaucoup grossie, pour montrer la disposition de la couronne tentaculaire fixée au-dessous du bord labial.

Fig. 1*p*. Portion du thorax beaucoup grossie, pour montrer la disposition des stigmates branchiaux et la communication entre le sinus thoracique et les vaisseaux transversaux de l'appareil respiratoire.

a Tunique externe. — *b* Tunique interne. — *f* Sinus ventral. — *f'* Orifices des canaux transversaux du sac branchial. — *e'* Fentes branchiales ou stigmates situés entre les vaisseaux verticaux par lesquels les canaux transversaux communiquent entre eux. — *k* Commencement de l'œsophage. — *m* Intestin.

Fig. 1*d*. Portion inférieure du corps, vue de face, pour montrer la posi-

tion du cœur. Les diverses parties sont désignées par les mêmes lettres que dans les figures précédentes.

Fig. 1^{e}. Groupe de Clavelines lépadiformes, réunies par des appendices radiciformes communs, d'où naissent par bourgeons de nouveaux individus.

s Appendices radiciformes. — *u* Bourgeons reproducteurs. — *u'* et *u''* Bourgeons dont le développement est plus avancé.

Fig. 1^{f}. L'un de ces bourgeons reproducteurs grossi davantage.

Fig. 1^{g}. Une de ces jeunes Ascidies, naissant par bourgeons et n'ayant pas encore d'ouvertures extérieures.

a Tunique externe, ou tégument commun. — *b* Tunique interne.

Fig. 1^{h}. OEuf prêt à éclore.

Fig. 2. Claveline naine. *Clavelina pumilio*, E., de grandeur naturelle.

Fig. 2^{a}. La même, grossie environ 40 fois. Les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans les figures précédentes.

Fig. 3. Claveline allongée. *Clavelina producta*, E. Groupe de deux individus adultes et de plusieurs jeunes, grossi environ 10 fois. Les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans les figures précédentes. On voit ici des bourgeons reproducteurs à divers degrés de développement (*u*, *u'*, *u''*), naissant sur la surface de l'abdomen des adultes.

Fig. 3^{a}. OEuf prêt à éclore.

Fig. 3^{b}. Larves au premier âge.

PLANCHE 3.

Fig. 1. Anatomie de l'Amarouque argus. *Amaroucium Argus*, E. L'animal retiré de la masse tégumentaire commune, et considérablement grossi.

A Thorax.

B Abdomen supérieur.

C Post-abdomen.

a Tunique propre.

b Tunique thoracique.

b' Fibres musculaires longitudinales de la tunique interne.
c Bouche.
d Collier au-dessous duquel se voient deux des taches oculiformes.
e Sac branchial.
f Sinus thoracique.
f'' Vaisseaux transversaux du sac branchial.
h Cloaque.
i Anus.
i' Appendice ou languette concourant à former la voûte du cloaque commun.
j Tubercule gangliforme.
k OEsophage.
l Estomac.
m Intestin.
n Orifice de l'intestin dans le cloaque.
o Cœur.
o' Péricarde.
p Ovaire.
p' OEuf prêt à passer dans le cloaque.
p'' OEufs logés dans le cloaque et prêts à éclore.
q Testicule.
r Canal déférent.
r' Orifice du canal déférent dans le cloaque.

Fig. 1*a*. Tube digestif isolé et grossi davantage pour montrer la conformation de l'estomac. Les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans la figure précédente.

Fig. 1*b*. Portion des parois de l'estomac grossi encore davantage pour en faire voir la structure.

Fig. 1*c*. Zoospermes. — *a* Grossis considérablement. — *b* Un des mêmes grossi davantage.

Fig. 2. Croquis d'une masse d'Amarouques prolifères, *Amaroucium proliferun* E., grossie deux fois.

Fig. 2*a*. Un de ces animaux extrait du corps tégumentaire commun, et

grossi. Les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans les figures précédentes.

Fig. 2^b. Orifice buccal dans la position naturelle, représenté de profil (a) pour montrer les lobes du rebord labial; et de face (b), pour faire voir les tentacules.

Fig. 2^c. Prolongements radiciformes dans lesquels on aperçoit encore le canal formé par l'appendice tubulaire (t) de la tunique propre de l'individu mère, et les jeunes se développant par bourgeons (u).

Fig. 2^d. Un bourgeon contenant un seul individu, et plus avancé dans son développement.

Fig. 3. Anatomie de l'Amarouque de Nordmann, *Amaroucium Nordmannii*, E. Un individu retiré de la masse tégumentaire commun et vu de profil.

Fig. 3^a. Portion supérieure du même, également grossi et vu par la face ventrale, pour montrer la disposition du grand sinus thoracique.

Dans ces deux figures, les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans la fig. 1.

Fig. 3^b. Extrémité supérieure du corps représenté de face et dans sa position naturelle, pour montrer la conformation de l'ouverture buccale.

Fig. 4. Croquis du Polycline orange, *Polyclinum aurantium*, E. Grossi 3 fois, et montrant la disposition des ouvertures buccales (c), et celle du cloaque commun i^*.

Fig. 4^a. Bouche d'un de ces animaux dans l'état de dilatation.

Fig. 4^b. Anatomie d'un de ces animaux. Les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans la fig. 1.

PLANCHE 4.

Développement de l'œuf et de la larve de l'Amarouque prolifère; les figures 1 à 13 ont été grossies environ 50 fois; les autres un peu moins.

Fig. 1. OEuf très-jeune, extrait de l'ovaire.
a Vitellus. — *b* Vésicule de Purkinje.

Fig. 2. OEuf plus avancé, également retiré de l'ovaire et montrant encore la vésicule de Purkinje.

Fig. 3. OEuf mûr, prêt à passer de l'ovaire dans le cloaque; on y aperçoit, à la place de la vésicule de Purkinje, une tache nébuleuse centrale, qui paraît être un blastoderme.

Fig. 4. OEuf retiré du cloaque et offrant les premiers phénomènes de l'incubation.
La matière jaune du vitellus (*b*) s'est pelotonnée par petites masses, et la couche tégumentaire (*a*), située entre le vitellus et la membrane extérieure, a pris de l'épaisseur.

Fig. 5. OEuf dont l'incubation est plus avancée.
a Couche tégumentaire. — *b* Masse centrale du vitellus, destinée à devenir le corps de la larve. — *b'* Portion annulaire de la masse vitelline, destinée à occuper le milieu de la queue de la larve.

Fig. 6. OEuf dont l'incubation est très-avancée.
La queue (*b'*) est devenue bien distincte du tronc (*b*), et celui-ci commence à présenter à son extrémité antérieure (*b''*) des lobules.

Fig. 7. OEuf arrivé au terme de l'incubation.
a Corps tégumentaire. — *b* Tronc de la larve. — *b'* Portion centrale de la queue. — *b''* Appendices cupulifères à l'extrémité antérieure de la larve. — *b'''* Lobules placés à la base des appendices cupulifères.

Fig. 8. Larve, ou jeune Ascidie nouvellement éclose.
a Corps tégumentaire du tronc. — *b* Poche renfermant le vitellus, et formant la tunique propre du corps de la larve. — *b''* Appendices terminés en ventouse, et servant à l'animal pour se fixer. — a^* Queue formée par un prolongement du corps tégumentaire, et renfermant un appendice tubulaire du sac vitellin (*b'*).

Fig. 9. La même larve, observée quelques heures après qu'elle s'est fixée. On n'aperçoit plus que des traces des appendices antérieurs (b''); le prolongement vitellin de la queue (b') s'absorbe, et la poche centrale, renfermant le vitellus, s'est contractée en boule.

Fig. 10. La même larve observée environ 10 heures après s'être fixée. La masse vitelline de la queue (b') est presque entièrement absorbée, et celle du tronc (b) commence à former des zones.

Fig. 11. La même larve, environ 20 heures après qu'elle s'est fixée. Le prolongement caudal de la tunique interne (contenant la matière jaune) a entièrement disparu, et cette tunique (b) a pris la forme d'un sac ovoïde légèrement étranglé au milieu ; on y distingue en avant un cercle jaune pâle (d) entourant une tache qui deviendra la bouche ; et en arrière une autre tache claire (c) dans laquelle se développera le cœur.

Fig. 12. La même, vers le commencement de la seconde journée de son état sédentaire.

La coupe tégumentaire (a) est beaucoup plus grande et on commence à distinguer, dans la tunique propre (b), une portion thoracique (A) et une portion abdominale (B). Le mamelon (d), destiné à devenir la bouche, est devenu très-saillant et commence à se lobuler. La tache péricardique (c) s'éclaircit davantage. On commence à distinguer le sac branchial (e), le sinus thoracique (f) et le cloaque (g); mais il n'y a pas encore d'orifices externes, et l'intestin ne se dessine pas nettement. a^* Vestiges de la queue dont on n'a figuré qu'une portion.

Fig. 13. La même, vue à la fin de la seconde journée de la vie sédentaire. Les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans la figure précédente. — L'estomac (l) commence à devenir distinct, et l'intestin (m) se montre rempli de matières grumuleuses et denses.

Le développement de cet individu s'est fait beaucoup plus rapidement que d'ordinaire; une circonstance fortuite m'a empêché de le suivre plus longtemps.

Fig. 14. Une larve mobile, légèrement comprimée, de façon à retourner en dehors le fond des ventouses frontales (b'', b'', b''), et à faire refluer la matière jaune dans un prolongement tubulaire contenu au milieu de l'appendice caudal de la tunique interne (b').

Fig. 15 à 26. Développement d'un autre individu de la même espèce, montrant les lobes protéiformes qui se produisent souvent autour de la portion tégumentaire de la jeune Ascidie.

Fig. 15. Larve pondue le 27 juillet; trouvée fixée le 28 au matin, et observée le même jour à midi. Les appendices frontaux b'' existent encore; mais la matière jaune de la queue commence à être absorbée.

Fig. 16. Le même individu, à six heures du soir.
Il est parvenu à un degré de développement un peu plus avancé que l'individu représenté fig. 10.

Fig. 17. Le même, le 29 juillet, à six heures du matin; on commence à distinguer le mamelon buccal (d).

Fig. 18. Le même, le 30 juillet, à six heures du matin.
Le mamelon buccal qui se voyait la veille s'est contracté; la tunique propre (b) a pris une forme plus arrondie, et on commence à distinguer le thorax (A), l'abdomen (B) et le sac branchial (e). On remarquera aussi que le tissu tégumentaire (a) a donné naissance à deux lobes (a^1 a^2) arrondis.

Fig. 19. Le même, observé le 31 juillet à six heures du matin.
La bouche (d) est devenue bien visible, ainsi que le sac branchial, et presque toute la matière jaune s'est concentrée dans l'abdomen. Les deux lobes du tissu tégumentaire formés la veille existent encore, mais l'un d'eux (a^2) a changé un peu de forme, et il s'en est développé un autre (a^3).

Fig. 20. Le même, observé à neuf heures du soir.
Les lobes tégumentaires a^2 et a^3 ont disparu; celui qui s'étend à droite (a^1) a grandi, et il s'en est développé un nouveau (a^4) qui occupe tout le côté gauche du corps.

Fig. 21. Le même, observé le 1er août à six heures du matin.

Tous les lobes du tissu tégumentaire qui existaient l'avant-veille ont disparu, et celui qui avait commencé à se montrer la veille au soir (a^4) est devenu extrêmement grand. On remarquera aussi que le sac interne formé par la tunique propre (b) a changé de place et a descendu beaucoup au-dessous du niveau de l'insertion de la queue (a), tandis qu'auparavant il était situé en avant de cet appendice.

Fig. 22. Le même, à quatre heures du soir.

Le grand lobe tégumentaire antérieur (a^4) est rentré, et il s'en est développé deux autres (a^5, a^6); le sac intérieur est en même temps remonté de façon à se placer de nouveau au-dessus de la queue.

Fig. 23. Le même, le 2 août, à cinq heures du matin.

Le lobe tégumentaire (a^5) est beaucoup élargi, et le sac intérieur (b) est complétement sorti de la portion du corps tégumentaire (a) où il était d'abord renfermé, et a fait hernie dans un nouveau lobe protéiforme (a^7).

Fig. 24. Le même, observé le 3 août à dix heures du soir.

Tous les lobes protéiformes de la veille ont disparu, et l'animal s'est complétement renversé dans l'intérieur de son tissu tégumentaire. On distingue maintenant, non-seulement la bouche (d), qui est béante, ainsi que l'anus (i), le sac branchial (e), le sinus thoracique (f) et le cœur (o), mais aussi l'estomac (l) et l'intestin (m).

Les jours suivants, toutes ces parties sont devenues plus distinctes, et l'abdomen s'est allongé; mais une maladie m'a forcé d'en interrompre l'étude, et je n'ai pu l'observer de nouveau que le 15 août.

Fig. 25. Le même individu observé le 20^e jour après sa sortie de l'œuf.

m^* Bols de matières fécales contenus dans l'intestin. — a Tissu tégumentaire destiné à former la masse commune de la colonie qui naîtra plus tard de cette Ascidie.

Fig. 26. Le même, quelques jours plus tard.

Le cœur (*o*) est encore presque en contact avec l'intestin, et l'abdomen est encore simple comme chez les Didemniens; il n'existe aussi que quatre rangées de stigmates branchiales; mais du reste on reconnaît toutes les mêmes parties que chez l'adulte, comme on peut s'en convaincre en comparant cette figure avec celle de ce dernier (pl. 3, fig. 2^a), où les divers organes sont indiqués par les mêmes lettres qu'ici.

PLANCHE 5.

Développement d'un autre individu de la même espèce, montrant les lobes protéiformes du tissu tégumentaire et le jeune animal parvenu à un âge plus avancé que dans les figures de la planche précédente.

Fig. 1. Larve fixée depuis la veille, et observée le 30 juillet, à six heures du matin.

a Le corps tégumentaire. — a^* La queue qui commence à se flétrir.—a' Un lobe protéiforme qui n'existait pas la veille à dix heures du soir. — *b* Le sac intérieur.

Fig. 2. Le même individu, le 30 juillet, à six heures du soir.

Le lobe protéiforme (a') n'existe plus.

Fig. 3. Le même, le lendemain (31 juillet), à six heures du matin.

Il s'est développé deux nouveaux lobes protéiformes ($a'a'$); le sac formé par la tunique interne (*b*) s'est beaucoup contracté; la bouche (*c*) s'est garnie de divisions lobulaires, et on commence à distinguer le cœur (*o*).

Fig. 4. Le même, à cinq heures du soir.

Les deux lobes protéiformes qui existaient le matin, sont rentrés, et il s'en est formé deux autres, dans l'un desquels le sac interne (*b*) s'est logé tout entier, comme dans une hernie.

Fig. 5. Le même, à neuf heures du soir.

Le lobe tégumentaire (a') a changé de forme, et celui contenant l'animal (*b*) s'est élargi à sa base; on distingue très-bien les contractions du sac interne.

Fig. 6. Le même, observé le lendemain (1er août), à six heures du matin.
L'animal (*b*) commence à se renverser dans sa tunique tégumentaire (*a*), et la bouche (*c*) devient bien distincte, quoiqu'elle ne soit pas encore ouverte extérieurement.

Fig. 7. Le même, à quatre heures du soir.
L'animal (*b*) s'est complétement renversé dans l'intérieur de son tégument (*a*), de façon que sa bouche (*c*) se trouve maintenant dirigée du côté de la queue. Le lobe protéiforme inférieur s'est modifié aussi.

Fig. 8. Le même, le 2 août, à cinq heures du matin.
L'animal a encore changé de place dans l'intérieur de son tissu tégumentaire, de façon que sa bouche (*c*), d'abord dirigée en arrière (*c*, fig. 3, etc.), ensuite à droite (*c*, fig. 6), puis à gauche (*c*, fig. 7), est dirigée maintenant directement en avant ; mais elle n'est pas encore ouverte au dehors. On distingue le thorax (A) de l'abdomen (B).

Fig. 9. Le même, à trois heures du soir.
L'abdomen (B) est devenu subpédiculé ; la bouche (*c*) est devenue béante au dehors, ainsi que l'anus (*i*) ; on distingue très-bien les stigmates branchiaux (*e*), le ganglion dorsal (*j*) et la tunique interne (*b*).

Fig. 10. Le même, à neuf heures du soir.

Fig. 11. Le même, le 3 août.
La bouche (*c*) est très-béante ainsi que l'anus (*i*), et l'on distingue fort bien l'intestin (*m*) et les bols de matières fécales (*m**) contenues dans son intérieur.

Fig. 12. Le même, le 4 août.

Fig. 13. Le même, le 5 août.

Fig. 14. Le même, le 6 août.

Fig. 15. Le même, le 20 août.
Les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans les figures 26, pl. 4 ; et 2a, pl. 3. On commence à distinguer les organes de la génération (*p*, *q*), et le post-abdomen se dessine.

PLANCHE 6.

Fig. 1. Botrylloïde rotifère, *Botrylloides rotifera*, E., de grandeur naturelle.

Fig. 1^a. La même espèce, grossie.

Fig. 2. Botrylloïde blanchatre, *Botrylloides albicans*, E., de grandeur naturelle.

Fig. 3. Botrylloïde rouge, *Botrylloides rubrum*, E., de grandeur naturelle.

Fig. 3^a. La même espèce, grossie.

Fig. 4. Botrylle violacé, *Botryllus violaceus*, E., de grandeur naturelle.

Fig. 4^a. La même espèce, grossie.

Fig. 5. Botrille doré, *Botryllus gemmeus*, Sav., de grandeur naturelle.

Fig. 5^a. La même espèce, grossie.

Fig. 6. Botrylle émeraude, *Botryllus smaragdus*, E., de grandeur naturelle.

Fig. 6^a. La même espèce, grossie.

Fig. 7. Botrylle a deux bandes, *Botryllus bivittatus*, E.

Fig. 7^a. La même espèce, grossie.

PLANCHE 7.

Fig. 1. Anatomie du Botrylloïde rotifère, *Botrylloides rotifera*, E. L'animal étant retiré de la masse tégumentaire commune et grossi.

Fig. 1^a. Le même, vu de côté.

Dans ces deux figures, les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans les planches 2 et 3.

c La bouche. — *e* Les stigmates branchiaux. — *f* Le sinus thoracique. — *h* Cloaque. — *i* L'anus. — *i'* La languette sus-anale qui concourt à former la voûte du cloaque commun. — *k* OEsophage. — *l* Estomac. — *m* Première portion de l'intestin ou

duodenum. — m' Deuxième portion de l'intestin ou ventricule chylifique. — m'' Troisième portion de l'intestin ou rectum. — n Orifice de l'intestin dans le cloaque. — o Le cœur. — q Le testicule. — r Le canal déférent. — t Appendice radiciforme. — t' Bourgeons reproducteurs. — x Masse glandulaire (hépatique?) — x' Son canal excréteur.

Fig. 1^b. Bourgeons reproducteurs, extraits de la masse tégumentaire commune.
t Portion de l'appendice radiciforme. — t' et t'' Bourgeons à divers degrés de développement.

Fig. 1^c. Bourgeons reproducteurs, grossis davantage.

Fig. 2. Anatomie du Botrylloïde rouge, *Botrylloides rubrum*, E., grossi.
c Bouche. — g Sinus dorsal. — h Cloaque. — j Ganglion. — k OEsophage. — l Estomac. — m Intestin. — p Ovaires.

Fig. 3. Anatomie du Botrylloïde violacé, *Botrylloides violaceus*, E., grossi et vu du côté droit.

Fig. 3^a. Le même, vu du côté opposé.
Les diverses parties sont indiquées par les mêmes lettres que dans les figures précédentes.

Fig. 3^b. Portion supérieure de la cavité branchiale, vue par sa face interne.
c Bouche. — c' Tentacules buccaux. — c'' Deux tubercules gangliformes. — d Repli annulaire entourant la base de la bouche. — e Stigmates branchiaux. — g Sinus dorsal. — f Sinus ventral.

Fig. 4. Anatomie du Botrylle émeraude, *Botryllus smaragdus*, E., grossi et vu de côté.
Les lettres ont la même signification que dans les figures précédentes.

Fig. 5. Didemne gélatineux, *Didemnus gelatinosus*, E., de grandeur naturelle et représenté fixé sur une masse de Serpules.

Fig. 5^a. Portion du même, grossi.
a Tissu tégumentaire commun. — b Un des individus logés dans

ce tissu. — p' Un œuf peu développé. — p'' Un œuf très-développé.

Fig. 5^a, 5^b, 5^c, 5^d. Divers individus extraits du tissu tégumentaire commun.
A Thorax. — B Abdomen. — *c* Bouche. — *e* Sac branchial. — *f* Sinus thoracique. — *h* Cloaque. — *i* Anus. — *k* OEsophage. — *l* Estomac. — *m* Intestin. — m^* Matières fécales. — *p* Ovaires. — p' OEufs très-développés. — t' Prolongements radiciformes. — t'' Bourgeons se développant à l'extrémité de ces prolongements.

PLANCHE 8.

Fig. 1. LEPTOCLINE GÉLATINEUX, *Leptoclinum gelatinosum*, E., fixé sur un pied de laminaire.

Fig. 1^a. Portion du même, grossi.

Fig. 1^c. Un individu extrait de la masse commune et vu du côté droit.

Fig. 1^e. Un autre, vu du côté opposé.
c Bouche. — *e* Sac branchial. — *f* Sinus thoracique. — *i* Anus. — i' Appendice sus-anal. — *l* Estomac. — m^* Bols de matières fécales dans l'intestin. — *n* Terminaison de l'intestin dans le cloaque. — p' OEufs.

Fig. 2. LEPTOCLINE MACULÉ, *Leptoclinum maculosum*, E., sur un pied de laminaire.

Fig. 2^a. Un des animaux extrait de la masse commune.
A Le thorax. — B L'abdomen. — *c* La bouche. — *e* Le sac branchial. — *i* L'anus. — *k* L'œsophage. — *l* L'estomac. — *m* L'intestin.

Fig. 2^b. Corpuscules calcaires dont le tissu commun est farci.

Fig. 3. LEPTOCLINE RUDE, *Leptoclinum asperum*, E., de grandeur naturelle.

Fig. 3^a. Portion du même, grossi.

Fig. 4. LEPTOCLINE CORIACE, *Leptoclinum durum*, E., de grandeur naturelle.

Fig. 4ª. Portion du même, grossi.

a Individu dont le rebord labial est saillant. — *b* Individu dont la bouche est dilatée, sans que le bord labial soit apparent. — *c* Individu dont la bouche est contractée.

Fig. 4ᵇ. Un des individus extrait du tissu commun.

Fig. 4. Leptocline éclatant, *Leptoclinum fulgens*, E., de grandeur naturelle, fixé sur une pierre.

Fig. 5ª. Portion du même, grossi.

a Cloaque commun. — *b* Orifices des égouts intérieurs. — *b'* L'un de ces égouts. — *c* Bols de matières fécales.

MÉMOIRE

SUR

LA CHALEUR ANIMALE.

PAR M. DULONG (1).

Lu à l'Académie des sciences, le 2 décembre 1822.

La faculté que possèdent les animaux à sang chaud de maintenir leur température presque invariablement au même

(1) La similitude générale des résultats contenus dans ce mémoire, avec ceux que M. Despretz a publiés, me met dans la nécessité de faire remarquer que les valeurs numériques ont été annoncées et imprimées dans plusieurs ouvrages, plus de huit mois avant que le mémoire de M. Despretz fût connu.

Cette remarque était nécessaire, car M. Despretz dit dans son mémoire qu'à l'époque où il l'a publié, je n'avais pas encore fait connaître mes résultats. Je suis d'autant plus étonné de cette assertion, que je me souviens d'avoir vu M. Despretz lui-même, soit à l'Institut lorsque j'y lus mon mémoire, soit à la Société philomathique où j'en exposai tous les détails.

degré, au milieu des vicissitudes atmosphériques, a été, de tout temps, l'un des principaux objets de méditation des physiologistes et des physiciens. Toutefois, quoiqu'on ait remarqué, dès l'origine, une certaine connexion entre la respiration des animaux et leur chaleur propre, on ne doit pas être surpris de ne trouver aucune explication satisfaisante d'un phénomène qui dépend du concours des puissances de l'organisation et des agents extérieurs avant l'époque où furent découverts les premiers principes de la théorie de la chaleur et les propriétés des fluides élastiques.

Cigna et Priestley avaient bien signalé l'identité des altérations de l'air atmosphérique pendant l'acte de la respiration, avec ceux que lui fait subir la combustion de plusieurs matières inflammables; mais pour apercevoir toutes les conséquences de ce rapprochement, il fallait avoir dévoilé la nature de l'acide carbonique. On sait que cette importante découverte appartient tout entière à Lavoisier. Des observations multipliées l'ayant conduit à ce principe général : que l'union des matières combustibles avec l'oxygène est constamment une source de chaleur, et que le charbon en particulier, l'un des éléments constitutifs des substances organiques, produit beaucoup de chaleur en formant de l'acide carbonique, il était bien naturel d'étendre l'application de cette loi aux phénomènes chimiques de la respiration des animaux, et de considérer cette fonction comme ayant pour objet principal la génération de la chaleur qui entretient en eux une température supérieure à celle du milieu ambiant.

Pour vérifier la réalité de cette conjecture et pour savoir si la chaleur que perd un animal, dans les conditions ordinaires de son existence, peut être entièrement réparée par la

fixation de l'oxygène pendant la respiration, il fallait nécessairement mesurer avec précision les deux effets. C'est ce que firent conjointement Lavoisier et M. de Laplace. On trouve, dans le *Mémoire sur la théorie de la chaleur,* publié par ces deux illustres académiciens, des expériences faites avec le calorimètre de leur invention, pour estimer la chaleur dégagée par un cochon d'Inde pendant un temps donné. En comparant les résultats de cette détermination avec la chaleur correspondante à la quantité d'acide carbonique produite dans le même temps, les auteurs arrivent à cette conséquence : que la chaleur développée par un animal est entièrement, ou presque entièrement, due à la combustion qui a lieu dans la respiration.

On pouvait objecter, cependant, et les auteurs en font eux-mêmes la remarque, que l'effet calorifique avait été mesuré sur un animal, et l'acide carbonique sur un autre, dans des conditions très-différentes. Cette circonstance rendait la comparaison moins rigoureuse, et même assez incertaine, puisque l'on observe des inégalités considérables d'un individu à un autre; et pour le même individu, à des températures diverses, ou dans un air plus ou moins pur.

Peu de temps après, le docteur Crawford publia sur le même sujet des recherches fort étendues. La question y est considérée sous le même point de vue que dans le mémoire précédemment cité; mais les résultats numériques obtenus par l'auteur sont très-différents. Il trouve que, pour un même volume d'oxygène absorbé, la chaleur produite par un animal serait inférieure à celle que le charbon dégage en brûlant, dans le rapport de 17 à 19 environ. Quoique ce physicien ait évité la cause d'erreur signalée par MM. de La-

place et Lavoisier, l'imperfection des méthodes expérimentales dont il a fait usage n'inspire pas une grande confiance dans ses résultats.

La question n'était donc pas suffisamment éclaircie. Mais, au lieu de suivre la seule voie qui pouvait conduire à une solution complète, la plupart des physiologistes qui ont entrepris des recherches sur l'origine de la chaleur animale, se sont bornés, les uns à confirmer l'opinion du physicien français, en faisant remarquer une corrélation constante entre les organes respiratoires et la température propre à chaque espèce; les autres, au contraire, à combattre cette doctrine par des expériences souvent très-ingénieuses, mais toujours insuffisantes pour la renverser.

Toutes ces expériences, parmi lesquelles on doit distinguer celles de MM. Brodie et Chossat, ont pour objet de montrer que la température des animaux est indépendante de l'action de l'air sur le sang, puisque la respiration continuant de s'accomplir naturellement ou artificiellement, on peut abaisser cette température par des altérations dans les propriétés ou par des lésions partielles du système nerveux.

Pour rendre tout à fait rigoureuses les conséquences que les auteurs déduisent de ces expériences, il aurait fallu ne pas se borner à constater l'introduction de l'air dans les poumons : il était indispensable de comparer, dans chaque cas, les altérations éprouvées par l'air et les variations de température correspondantes.

Le Gallois est le seul qui ait étudié simultanément les changements chimiques de l'air respiré et le refroidissement qui survient lorsque, par des obstacles de diverse nature,

on s'oppose au libre exercice de la respiration; et le rapprochement qu'il a fait de ces deux genres de phénomènes, est plus favorable que contraire à la théorie chimique de la chaleur animale.

D'après cet exposé des principaux travaux relatifs à la question qui nous occupe, on voit que si la première théorie de la chaleur animale n'est pas détruite par les objections qu'on lui a opposées, elle ne se trouve pas non plus établie sur des preuves péremptoires. Telle est sans doute aussi l'opinion que l'Académie s'en est formée, puisqu'elle a provoqué un nouvel examen de cette théorie, en la proposant pour sujet de prix.

Lorsque j'ai conçu le projet de m'occuper de ces recherches, j'étais loin d'imaginer toutes les difficultés qu'elles présentent. Aussi, quoique j'y aie consacré plusieurs mois d'un travail assidu, il me reste encore plusieurs points importants à examiner.

Il m'a paru que la seule manière décisive de résoudre la question consistait à mesurer simultanément et dans un certain nombre d'espèces, les changements chimiques produits dans l'air par la respiration et la chaleur perdue par toutes les voies possibles; en ayant soin, d'ailleurs, de placer les animaux, pendant toute la durée des expériences, dans des conditions semblables à celles où ils se trouvent naturellement.

La détermination de chacun des effets, considéré isolément, eût été, sans doute, incomparablement plus facile; mais on savait par des expériences de Crawford et de plusieurs autres physiciens, que les phénomènes de la respiration sont sujets à de nombreuses vicissitudes.

L'invariabilité de température dans l'enceinte du calorimètre employé par MM. de Laplace et Lavoisier, qualité qui offre tant d'avantages dans beaucoup de recherches de physique, aurait trop restreint les conditions des expériences; et, d'ailleurs, cet instrument, dont l'usage est subordonné à la rigueur de l'hiver, présente trop d'incertitude, quand on l'applique à des effets peu intenses.

Je me suis donc déterminé à mesurer la chaleur par les variations de température produites dans une masse connue d'eau, en employant le procédé de compensation imaginé par Rumford, pour éviter l'erreur qui résultait du refroidissement ou du réchauffement de l'appareil, pendant la durée des expériences.

L'exactitude de ces sortes de recherches ne pouvant être appréciée qu'en examinant avec soin le degré de précision que comporte chaque partie de l'appareil, je vais décrire celui que j'ai employé, avec assez de détails pour que l'on s'en forme une juste idée.

Dans un réservoir de fer-blanc de forme cylindrique, à base elliptique AA″, se trouve placée une boîte de cuivre mince BB′, d'une forme semblable, mais plus petite dans toutes ses dimensions, et isolée de tous côtés de la première enceinte, par quelques supports minces, placés en dessous et latéralement. Le couvercle de cette boîte porte un rebord qui peut descendre librement jusqu'à la profondeur de 4 centimètres, dans une rainure CC′ de cuivre, soudée à la partie supérieure de la boîte et remplie de mercure. C'est dans cette cavité que l'on place l'animal, préalablement renfermé dans une cage très-légère d'osier, qui empêche tout contact avec les parois métalliques, et dont les dimensions

ne l'obligent de prendre aucune attitude gênante. Cette disposition permet de remplir le réservoir d'eau, et d'envelopper l'animal de toutes parts d'une couche assez épaisse de ce fluide, sans l'exposer à être submergé ou même simplement mouillé.

Le volume d'air contenu dans l'espace où l'animal est renfermé, aurait bientôt été rendu impropre à la respiration. Pour l'entretenir dans un degré de pureté convenable, on le renouvelait par un courant gradué, suivant le besoin. L'air arrivant par un tuyau D, qui s'ouvrait à une des extrémités de la boîte BB′, se mêlait avec celui qu'elle renfermait, puis parcourait, avant de sortir, les contours d'un autre tuyau horizontal EE, où il abandonnait l'excès de sa température sur celle de l'eau.

La partie de l'appareil destinée à faire connaître les altérations de l'air par la respiration, se composait de deux gazomètres, construits de manière à donner avec précision le volume de l'air avant et après son passage dans le calorimètre.

Ce sont deux cylindres métalliques G et G′, d'un mètre environ de hauteur et d'une capacité de 60^{l}, contenus chacun et retenus fixement dans un autre cylindre, plus large et un peu plus haut, HH′. L'un des gazomètres, que je nommerai pour abréger numéro 1, est destiné à fournir l'air nécessaire à l'animal; le gazomètre numéro 2 à le recueillir, lorsqu'il a servi à sa respiration. Ils communiquent, le premier avec l'ouverture de la boîte BB′, dont nous avons parlé précédemment, et le deuxième avec le serpentin EE, par des tuyaux munis de robinets. Un courant d'eau provenant d'un réservoir à niveau constant I, placé au-dessus du numéro 1,

sert à déplacer l'air de ce gazomètre. Le numéro 2 étant rempli d'eau, ainsi que son réservoir, l'air se serait trouvé seulement comprimé dans l'appareil, si on ne lui eût offert un nouvel espace libre. Comme il était très-important que le courant ne fût point affecté par des oscillations de compression ou de dilatation, on a adapté au réservoir H′ un mécanisme particulier, qui avait pour objet de produire à chaque instant dans le gazomètre numéro 2, l'espace vide justement nécessaire pour recevoir le volume déplacé dans le numéro 1. C'est un siphon dont la plus courte branche excède un peu la hauteur du réservoir H′. L'extrémité inférieure traverse un flotteur *k* de fer-blanc verni, clos de toutes parts, dont la forme s'adapte à la partie la plus large du ménisque compris entre le gazomètre et son réservoir. Le volume d'eau qu'il déplace serait insuffisant pour supporter tout le poids du siphon ; mais un contre-poids attaché à un fil qui s'enroule sur la gorge d'une poulie fixe, en soutient une portion telle, que, lorsque l'équilibre est établi, le flotteur plonge seulement aux trois quarts de sa hauteur. A l'aide de cette disposition, on peut produire un écoulement constant par le siphon, car celui-ci reste toujours soutenu verticalement dans la même situation relativement au niveau de l'eau, dont il suit toutes les variations.

Le gaz expiré contenant une certaine proportion d'acide carbonique, ne devait pas être laissé en contact avec l'eau. Le moyen le plus simple que j'aie trouvé de le soustraire à son action, consiste à placer dans l'intérieur du gazomètre numéro 2, un disque de liége taillé en cône tronqué, d'un diamètre un peu plus petit que celui du cylindre. Une masse de plomb fixée à l'extrémité d'une tige métallique, laquelle

est insérée au centre du disque, perpendiculaire à son plan, le maintient toujours dans une situation horizontale; et la surface annulaire qu'il laisserait à nu, est recouverte par un taffetas imperméable et très-flexible, qui est appliqué sur la face supérieure du liége. L'acide carbonique contenu dans le gaz expiré ne peut donc point être absorbé pendant la durée de l'expérience, et l'espèce de piston qui le sépare de l'eau, n'éprouve pas de frottement sensible le long des parois du cylindre où il se meut.

Le volume introduit et le volume expiré pouvaient être mesurés avec une grande précision, par le moyen de deux tubes de verre L, L′ gradués arbitrairement et placés verticalement en dehors des réservoirs H et H′. Ces tubes communiquant par leur extrémité inférieure avec la capacité des réservoirs, on avait le niveau des liquides dans ce réservoir, en observant celui du tube. Une éprouvette à eau placée au-dessus de chacun des gazomètres, indiquait l'élasticité du gaz; de sorte qu'en ajoutant ou en laissant écouler de l'eau, jusqu'à ce que les pressions intérieures et extérieures fussent égales, on était certain que le niveau de l'eau dans le gazomètre ne différait pas de celui qu'indiquait le tube.

La difficulté d'évaluer la température d'un volume aussi considérable de fluide élastique, aurait pu laisser quelque incertitude sur l'exactitude des mesures; mais on l'a fait disparaître en laissant tomber sur la surface extérieure du gazomètre une assez grande quantité d'eau pour donner à toute la masse de l'instrument et du gaz qu'il renfermait, la température même du fluide, qu'il était facile de connaître. Pour m'assurer du degré de précision qu'il était permis d'espérer de cette partie du procédé, j'ai mis l'instrument à

l'épreuve, en faisant passer une même masse d'air d'un gazomètre dans l'autre, et jamais la différence des estimations n'a dépassé 5 centilitres, pour des volumes de 30 à 40 degrés.

Enfin, pour constater les changements de composition éprouvés par l'air, on recueillait, après la fin de l'expérience, une certaine quantité de gaz sur le mercure d'une petite cuve M adaptée à l'instrument. Il suffisait pour cela de verser une grande quantité d'eau dans le réservoir H', pour vaincre la pression exercée par le mercure à l'extrémité du tube N.

Quant au procédé même d'analyse, il est trop simple et trop connu pour que je m'y arrête. Je me suis toujours servi de l'eudiomètre à gaz hydrogène, et chaque analyse a été répétée trois fois.

Toutes les expériences ayant été conduites de la même manière, je vais en exposer la marche, et je me contenterai ensuite d'en énoncer les résultats.

L'animal étant placé dans la boîte BB', le couvercle assujetti d'une manière invariable, par deux traverses PP, P'P', le gazomètre n° 1, rempli d'air atmosphérique saturé d'humidité, et le n° 2 d'eau, on ouvrait le robinet T du réservoir S, et celui du n° 1 R. On réglait par un essai préalable l'ouverture qu'il fallait donner dans chaque cas, pour que la proportion d'acide carbonique dans l'air expiré ne sortît pas de certaines limites. Le fluide élastique mis en mouvement ne trouvant aucune issue dans le n° 2, dont le robinet était fermé, s'échappait au dehors par un tube adapté au conduit X. Alors on versait dans la caisse AA' une quantité d'eau connue et suffisante pour envelopper de toutes parts la

boîte BB′. Son poids était ordinairement de 7 kilogrammes environ. Sa température était inférieure à celle de l'air d'une quantité convenable pour que le réchauffement produit par l'animal pendant les opérations préliminaires, laissât encore subsister une différence suffisante, dans le même sens, au moment où l'expérience devait commencer. On plaçait ensuite le couvercle OO′ sur la caisse AA′, et aux extrémités d'un diamètre les deux thermomètres Q et Q′, qui pouvaient indiquer immédiatement les centièmes de degré. Les variations de densité occasionnées dans l'eau, par le réchauffement, ne pouvant produire que très-difficilement des courants, à cause des nombreux obstacles qu'ils auraient rencontrés, je me suis déterminé à mélanger toutes les parties du liquide. Le couvercle OO′ porte à cet effet trois douilles sur le petit axe, dont chacune laisse passer la tige d'un volant. L'un α, imprime un mouvement de rotation dans un plan horizontal; l'autre β', mélange les couches inférieures avec les supérieures; le troisième γ', renouvelle la partie du liquide qui pourrait séjourner au-dessus de la boîte BB′. Je me suis assuré que, par ce procédé, il s'établissait dans toute la masse une température uniforme; car, en plaçant successivement les deux thermomètres à des profondeurs différentes, l'inégalité n'a jamais dépassé deux centièmes de degré.

Toute cette partie de l'appareil était abritée contre l'influence du corps de l'observateur et les agitations de l'air, par une caisse métallique ZZ′ percée, seulement, pour laisser passer les thermomètres et les tiges des volants.

On laissait les choses dans cet état pendant trois quarts d'heure ou une heure, en ayant soin, toutefois, de remuer l'eau de cinq en cinq minutes. Alors la composition de l'air

sortant de l'appareil ne variant plus, on arrêtait l'écoulement de l'eau, on mesurait le volume d'air que contenait encore le gazomètre n° 1; on prenait la hauteur du baromètre et la température de l'eau du réservoir S, qui était en même temps celle du gaz. Aussitôt après on notait les indications des deux thermomètres Q et Q', puis on fermait l'orifice Y du tube de décharge. Enfin, le robinet ε du gazomètre n° 2 et celui du siphon étant ouverts, l'on rétablissait le courant d'air, tel qu'il était auparavant. Après quelques instants de tâtonnement, on parvenait à produire, par le siphon, un écoulement d'une rapidité telle, que l'air passait du n° 1 dans le n° 2 sans changement appréciable de densité. La différence initiale des températures du calorimètre et de l'air ambiant étant donnée par deux autres thermomètres t et t', placés à deux points opposés de la caisse métallique, on continuait l'expérience jusqu'à ce que la différence de ces mêmes températures fût égale, mais en sens contraire, de la première. A cet instant, on arrêtait une seconde fois le courant, et l'on mesurait de nouveau le volume d'air restant dans le n° 1, sa température et la hauteur du baromètre. On rétablissait ensuite le courant, pour subvenir au besoin de la respiration de l'animal, pendant le temps nécessaire pour démonter l'appareil. On déterminait ensuite le volume du gaz expiré, avec les précautions indiquées précédemment. Enfin, on ouvrait le robinet λ; et, lorsque la compression exercée par l'eau était suffisante, on recueillait sur le mercure un échantillon de gaz pour en faire l'analyse. — J'omets, à dessein, beaucoup de détails qui deviendraient fastidieux; ils se présenteront naturellement à l'esprit des personnes habituées à ce genre d'expériences.

On voit donc que l'animal se trouvait placé dans des circonstances à peu près semblables à celles où il aurait été à l'air libre. Les phénomènes de la respiration s'accomplissaient sans obstacles, puisque l'on fournissait une quantité d'air égale à celle qu'il aurait inspirée dans l'état naturel. A la vérité, cet air lui arrivait saturé d'humidité, mais c'était à une température inférieure de 20° au moins à celle de son corps. Ainsi les transpirations pulmonaires et cutanées n'en éprouvaient aucun empêchement. La portion de vapeur aqueuse enlevée par l'air, pendant son trajet dans la boîte, se condensait tout entière dans le serpentin; en sorte que la chaleur fournie d'abord par l'animal pour vaporiser cette eau, était ensuite complétement restituée au calorimètre. On obtenait donc exactement la totalité de la chaleur perdue, soit par rayonnement, soit par le contact de l'air, soit enfin par l'évaporation; et comme l'animal sortait à la même température qu'il avait en commençant, c'était aussi la quantité de chaleur produite pendant la durée de l'expérience, durée que l'on avait soin de noter.

Les variations de température que l'on faisait subir à l'eau du calorimètre étaient ordinairement d'1° ou 1° $\frac{1}{2}$. Je me suis assuré que l'on pouvait, sans erreur sensible, faire usage du procédé de compensation proposé par Rumford, quoiqu'il ne soit pas rigoureusement exact. Quant aux changements chimiques produits dans l'air respiré, on pouvait les apprécier avec une précision plus grande que dans les expériences faites avec le manomètre, parce qu'il restait moins d'incertitude sur la température du fluide élastique.

Je passe aux résultats que j'ai obtenus sur six espèces d'a-

nimaux, qui sont le chat, le chien, le cabiai, le lapin, le pigeon et la crécerelle.

Quoique l'examen des phénomènes chimiques de la respiration ne soit pas l'objet principal de ce mémoire, comme j'ai dû nécessairement m'en occuper, et que l'on ne s'accorde pas encore sur les points principaux, je commencerai par exposer les remarques que j'ai faites à cet égard.

Tous les observateurs conviennent de l'existence de l'acide carbonique dans l'air expiré; mais les uns prétendent que le volume de l'oxygène qui disparaît, est précisément égal à celui de l'acide carbonique produit; et ils en tirent la conséquence que le charbon est le seul élément du sang qui subisse la combustion. D'autres, au contraire, ont trouvé que l'acide carbonique est inférieur au volume de l'oxygène, qui manque dans l'air expiré; ce qui conduirait à faire penser qu'une portion de l'oxygène se combine aussi avec l'hydrogène du sang.

Je n'examinerai pas ici toutes les causes qui ont pu occasionner une pareille discordance. Mais il en est une qui tient au procédé même dont on se sert ordinairement, et qui consiste à renfermer un animal dans un volume d'air limité, jusqu'à ce que la proportion d'acide carbonique se soit élevée à 11 ou 12 centimètres. Il me paraît très-probable, d'après les expériences de Legallois, qu'une partie d'acide carbonique est absorbée, ou que l'animal en laisse moins dégager, lorsque l'atmosphère qui l'entoure en est déjà surchargée.

L'appareil que j'ai employé n'expose pas au même incon-

vénient, puisque l'on peut rendre aussi faible qu'on le désire la proportion d'acide carbonique, et mettre l'animal dans les mêmes conditions que s'il respirait à l'air libre.

Quoique j'aie fait un grand nombre d'expériences, dans des circonstances variées à dessein, je n'ai pas pu découvrir les causes de l'irrégularité que l'on observe dans ces phénomènes, soit pour une espèce en particulier, soit pour un même individu.

Dans toutes mes observations, qui s'accordent en cela avec celles de M. Gay-Lussac, le volume de l'oxygène qui a disparu est plus grand que celui de l'acide carbonique produit. L'excès du volume de l'oxygène absorbé sur celui de l'acide carbonique fait, terme moyen, le $\frac{1}{10}$ de ce dernier, et ne s'élève jamais au $\frac{1}{5}$ pour les lapins, les cabiais et les pigeons. Au contraire, pour les chiens, les chats et la crécerelle, ce même rapport n'est jamais au-dessous d'$\frac{1}{4}$. Il est presque toujours à peu près $\frac{1}{3}$ et quelquefois $\frac{1}{2}$. Les différentes époques de la digestion ne m'ont pas paru influer d'une manière constante sur ces variations. L'absorption est toujours plus forte dans le jeune âge que dans la vieillesse.

Quoique ces observations ne portent que sur six espèces, on peut présumer avec beaucoup de vraisemblance que la différence que nous venons de signaler, tient à celle des aliments dont ces animaux se nourrissent, ou à une diversité d'organisation correspondante.

En comparant le volume de l'air expiré et celui de l'air inspiré, on voit dans certains cas une diminution précisément égale à celle que l'analyse indique dans l'oxygène; dans d'autres, et c'est le plus grand nombre, une diminution

moins grande que celle qui devrait avoir lieu, si l'azote restait constant ; enfin, dans un petit nombre, le volume expiré est plus grand que le volume inspiré. Celui-ci ne se fait remarquer que pour les animaux frugivores. L'augmentation dans le volume de l'azote est très-souvent supérieure aux erreurs que ce genre d'observation comporte. En sorte que l'on doit en conclure, comme plusieurs observateurs l'avaient déjà avancé, que, dans l'acte de la respiration, il se dégage un volume d'azote toujours inférieur à l'oxygène *absorbé* par les carnivores, et quelquefois, mais rarement, supérieur dans les frugivores. Toutefois, l'exhalation de l'azote par la surface pulmonaire, étant un phénomène trop remarquable, pour qu'on ne cherche pas à le constater d'une manière indubitable, je me propose de faire quelques expériences spécialement dirigées vers ce but. En faisant respirer à un animal la totalité du volume d'air renfermé dans le gazomètre, la quantité absolue d'azote dégagée devra alors se trouver bien supérieure à toutes les erreurs que l'on peut craindre dans l'emploi de l'appareil.

J'arrive au résultat principal que je me proposais d'obtenir, la comparaison de la chaleur dégagée ou reproduite par un animal, avec celle que l'on peut attribuer aux phénomènes de la respiration. Tous les éléments des expériences et les résultats du calcul sont consignés dans un tableau annexé à ce mémoire.

Une colonne de ce tableau présente le rapport entre la chaleur due à la formation de l'acide carbonique et la chaleur perdue, dans un même temps, par chaque espèce.

Il est fort digne de remarque que, relativement aux trois

espèces carnivores, précédemment nommées, ce rapport varie aussi peu. La proportion de chaleur dépendante de l'acide carbonique ne fait jamais moins que les 0,49, ni plus que les 0,55 de la chaleur totale. Dans les trois autres espèces, qui ne se nourrissent que de végétaux, on voit aussi des différences beaucoup moins grandes que celles auxquelles on aurait pu s'attendre, en considérant la diversité d'organisation. Ce même rapport est alors compris entre 0,65 et 0,75.

Une autre colonne renferme la comparaison de la chaleur provenant de la totalité de l'oxygène qui disparaît dans l'acte de la respiration, en admettant que la partie qui n'est pas représentée par l'acide carbonique, est employée à former de l'air. La plus faible proportion de chaleur due à ces deux causes réunies est de 0,69, et la plus forte de 0,80, de la chaleur totale. Ce sont là les extrêmes des variations que j'ai observées.

Ces déterminations reposent, il est vrai, sur l'évaluation de la chaleur dégagée pendant la combustion de l'hydrogène et du charbon. J'ai employé dans les calculs celle de MM. de Laplace et Lavoisier, qui ne peut être que trop forte, si elle n'est pas parfaitement exacte. Le temps ne m'a pas encore permis de la vérifier.

Je m'étais encore proposé de rechercher l'influence des températures extrêmes de l'atmosphère et des diverses époques de la digestion. Plusieurs accidents, indépendants des expériences, m'ont empêché jusqu'à présent d'obtenir un assez grand nombre de résultats comparables. Mais la question principale me paraît résolue de manière à ne laisser aucun doute, et l'on peut établir en principe, que, dans

l'état de santé, la fixation de l'oxygène absorbé pendant la respiration est insuffisante pour réparer la perte de chaleur que font les animaux dans les conditions naturelles de leur vie, et qu'il doit, par conséquent, exister en eux une autre cause de caléfaction. De quelle nature est cette autre cause ? C'est ce que l'on ne saura peut-être jamais avec certitude.

NOM DE L'ANIMAL, SON POIDS.	ALEUR la format. de E CARBON.	CHALEUR due A L'HYD. BRULÉ.	CHALEUR due A L'ACIDE CARB. rapporté à la chaleur réelle prise pour 1.	CHALEUR due AU CHARBON et A L'HYDROGÈNE brûlés, rapportés à la chaleur réelle prise pour 1.
(1) Chat de 2 mois. 712	92	1639	0,535	0,729
(2) Chat de 2 mois $\frac{1}{2}$. 760	26,5	1927	0,492	0,688
(3) Chat de 3 mois. 730	76	1623	0,551	0,715
(4) Chat de 4 mois. 1115	21,4	2956	0,554	0,758
(5) Chat de 4 mois. 1105	50	2119	0,540	0,736
(6) Chien de 45 jours. 1040	32	1956	0,532	0,728
(7) Chien de 50 jours. 1150	50,8	2317	0,554	0,802
(8) Chien de 60 jours. 1302	55	2151	0,579	0,792
(9) Crécerelle. 265	28	865,1	0,493	0,715
(10) Crécerelle. 280	40	951	0,545	0,789
(11) Cochon d'Inde vieux. 865	30	305	0,657	0,694
(12) Cochon d'Inde. 874	35	334	0,708	0,749
(13) Cochon d'Inde jeune. 476	17	454	0,672	0,800
(14) Lapin de 4 mois. 1990	11,4	499	0,710	0,755
(15) Lapin de 2 mois. 990	12,7	486,8	0,756	0,833
(16) Pigeon. 357	24,4	511,1	0,681	0,745
(17) Pigeon. 346	23	565,3	0,724	0,787

NOM DE L'ANIMAL, son poids.	DURÉE de l'expérience.	TEMPÉRATURE de l'air.	VOLUME total de l'air introduit en une heure.	DIMINUTION ou augmentation de volume.	OXYG. ABSORBÉ outre celui de l'acide carbon.	AZOTE DÉGAGÉ ou absorbé.	ACIDE CARBON. sur 100.	QUANTITÉ totale d'acide carbon. et par heure, réduit à 0° et à 0m,76 sec.	OXYGÈNE absorbé réduit à 0° et à 0m,76 sec.	QUANTITÉ totale de chaleur perd., et par heure.	CHALEUR due à la format. de l'acide carbon.	CHALEUR due à l'hyd. brûlé.	CHALEUR due au charbon et à l'hydrogène brûlés, rapportés à la chaleur réelle prise pour 1.	CHALEUR due à l'acide carb. rapporté à la chaleur réelle prise pour 1.
(1) Chat de 2 mois. 712	h. m. 1 — 10	17°,6	16,303 13,974	l. — 0,278	l. 0,418	D. 0,140	7,2	1,152 0,988	0,396	8400 7200	4492	1639	0,535	0,729
(2) Chat de 2 mois ½ 760	1 + 17	17,7	24,7 19,25	— 0,347	0,470	D. 0,123	5,47	1,237 0,964	0,462	9802,3 7638	4826,5	1927	0,492	0,688
(3) Chat de 3 mois. 730	1 + 18	14,8	25,118 19,321	— 0,542	0,430	A. 0,112	6,28	1,404 1,08	0,389	9930,3 7638,7	5476	1623	0,551	0,715
(4) Chat de 4 mois 1115	1 + 30	15,9	35,142 23,428	— 0,746	0,802	D. 0,056	6,38	2,056 1,371	0,708	1447,2 9648	8021,4	2956	0,554	0,758
(5) Chat de 4 mois. 1105	1 + 8	16,05	24,775 21,8	— 0,544	0,545	0	6,64	1,500 1,323	0,508	1082,3 9549,7	5850	2119	0,540	0,736
6 Chien de 45 jours. 1040	1 + 19	15,96	32,461 24,65	— 0,172	0,513	D. 0,341	4,679	1,367 1,038	0,469	10015,7 7606,8	5332	1956	0,532	0,728
7 Chien de 50 jours. 1150	1 + 28	18,67	27,241 18,573	— 0,186	0,613	D. 0,427	6,3	1,522 1,06	0,554	10307,6 7028	5950,8	2317	0,554	0,802
8 Chien de 60 jours. 1302	1 + 20	16,01	28,38 21,56	— 0,189	0,564	D. 0,375	5,6	1,49 1,14	0,515	10115,7 7682,8	5865	2151	0,579	0,792
(9) Crécerelle. 265	2 + 8	17,8	19,945 9,349	— 0,068	0,227	D. 0,159	2,74	0,494 0,232	0,207	3908 1832	1928	865,1	0,493	0,715
(10) Crecerelle. 280	2	16,1	20,144 10,072	— 0,074	0,249	D. 0,175	2,7	0,543 0,255	0,227	3892 1946	2120	951	0,545	0,789
(11) Cochon d'Inde vieux. 865	1 + 37	14,5	26,729 16,535	+ 0,096	0,079	D. 0,175	5,5	1,372 0,848	0,073	8144 5037	5350	305	0,657	0,694
(12) Cochon d'Inde. 874	1 + 35	14,2	29,401 18,186	+ 0,105	0,086	D. 0,191	5,56	1,509 0,932	0,08	8306 5138	5885	334	0,708	0,749
(13) Cochon d'Inde jeune 476	1 + 3	15,4	10,783 10,270	+ 0,103	0,118	D. 0,221	6,16	0,607 0,578	0,108	3523,7 3355,9	2367	454	0,672	0,800
(14) Lapin de 4 mois. 1990	1 + 46	18,58	35,447 20,06	— 0,050	0,119	D. 0,069	6,3	2,025 1,146	0,113	1113,1 6300	7901,4	499	0,710	0,755
(15) Lapin de 2 mois. 990	1 + 30	16,4	32,403 21,602	— 0,126	0,167	D. 0,041	4,1	1,228 0,806	0,116	6536,8 4224,6	4792,7	486,8	0,756	0,833
(16) Pigeon. 357	2 + 4	12,64	46,989 23,004	— 0,116	0,129	·	3,18	1,388 0,677	0,122	8005,4 3846,3	5454,4	511,1	0,681	0,745
(17) Pigeon. 346	2 + 13	12,89	42,823 19,318	— 0,120	0,140	D. 0,020	4,05	1,655 0,744	0,134	8898,5 4014,5	6443	565,3	0,724	0,787

RECHERCHES CHIMIQUES
SUR LA VÉGÉTATION.

DE LA DISCUSSION
DE LA VALEUR RELATIVE DES ASSOLEMENTS,
PAR LES RÉSULTATS DE L'ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

PAR M. BOUSSINGAULT.

On sait que l'atmosphère et les matières organiques mortes qui se trouvent répandues dans la terre concourent simultanément à entretenir la vie des plantes; mais on ignore encore le rapport suivant lequel chacune de ces deux sources contribue à l'accroissement d'un végétal.

Ce rapport permettrait cependant d'approfondir les deux questions vitales de la science agricole : la théorie de l'épuisement du sol par la culture, et l'étude des assolements.

Si dans un terrain fertile, on fait une suite de récoltes sans renouveler les engrais, on remarque que les produits récoltés diminuent graduellement; et à une certaine époque, si c'est une céréale que l'on cultive, le produit, qui dans le principe était de huit à neuf fois la semence, se réduira à trois et même

à deux. Ainsi, les récoltes diminuent la fertilité du sol, elles l'épuisent.

Depuis longtemps on a reconnu que les diverses espèces de plantes qui entrent dans la culture exercent une action épuisante très-différente. Dans la pratique, on admet même que, loin d'épuiser le sol, certaines espèces, comme le trèfle, la luzerne, etc., lui communiquent, au contraire, une nouvelle vigueur. On peut cependant poser en principe que toute plante, sans exception aucune, appauvrit le sol dans lequel elle croît. Cet appauvrissement est toujours manifeste lorsque la plante, après sa maturité, est enlevée en totalité; l'épuisement est d'autant moins sensible que la plante récoltée laisse dans le sol une plus grande quantité de débris. Ainsi, pour citer un exemple, le trèfle, après avoir donné les deux coupes qui sont généralement récoltées comme fourrage, pourrait encore en fournir une troisième; c'est cette dernière pousse que l'on enterre ordinairement comme engrais, et avec elle se trouve enfouie une masse considérable de racines. L'amélioration que l'on procure à la fertilité du sol par la culture du trèfle, rentre donc tout à fait dans ce que les agriculteurs désignent sous le nom de fumure par *enfouissage* en vert; méthode très-anciennement pratiquée dans le midi de l'Europe, et qui peut présenter un avantage décidé là où, en raison de l'abondance des terres à pâturages, on n'a pas un grand intérêt à transformer en chair les produits de la culture. L'amélioration du sol par le trèfle rentre tellement dans cette méthode, qu'il n'y aurait plus qu'épuisement si la dernière pousse était récoltée, et si on enlevait encore les racines. On voit donc que, par la culture du trèfle, on améliore le sol, en lui sacrifiant comme

engrais une quantité considérable de matière nutritive.

Thaer, qui a toujours fait marcher de front la pratique et la théorie de l'art agricole, et qui, mieux que personne, était à même de comprendre toute la portée de la question de l'épuisement du sol, chercha à la résoudre pour les cultures principales. Je n'ai pas à exposer ici la méthode qu'il a adoptée, puisqu'elle est tracée dans son admirable ouvrage. J'observerai seulement que cette méthode se fonde sur un principe très-contestable, savoir : que l'épuisement occasionné par la culture est proportionnel à la quantité de substance nutritive contenue dans les récoltes. Thaer admet, pour la valeur nutritive des plantes qu'il considère, celle déterminée par Einhof à l'aide d'un procédé fort imparfait; mais cette détermination, fût-elle exacte, ne fournirait encore qu'une base erronée.

En effet, en adoptant le principe posé par cet illustre agriculteur, on admet tacitement que toute la matière organique des plantes est originaire du sol. Le sol, sans doute, contribue pour une certaine proportion au développement des végétaux; mais on sait aussi que l'air contribue également pour sa part à ce développement. D'un autre côté, et en opposition aux idées de l'école de Thaer, les physiologistes ont peut-être exagéré la proportion des principes que les plantes soutirent à l'air atmosphérique. Ainsi, M. de Saussure estime que, pendant sa croissance, un tournesol ne prend au terrain qu'environ la vingtième partie de son poids; la plante supposée sèche. Le raisonnement qui a conduit ce célèbre physiologiste à cette conclusion, repose, d'un côté, sur la connaissance de la matière extractive du terreau, et, de l'autre, sur la quantité d'eau qu'une plante comme le tour-

nesol peut absorber dans un temps donné pour la déverser ensuite dans l'air par la transpiration (1).

On aurait peu d'objections à élever contre cette conclusion, si les expériences de M. Gazzeri ne tendaient à prouver que les racines exercent réellement, par leur contact sur la matière organique solide, une action absorbante incontestable, en les rendant solubles (2). Je puis encore rappeler une observation de M. de Saussure lui-même, dans laquelle il a vu que des plantes cultivées dans un terreau privé de son principe soluble, par de nombreux lavages, sont néanmoins parvenues à une parfaite maturité, bien que dans cette condition de culture le produit en graines ait été moins abondant que si les plantes eussent vécu dans du terreau non lavé (3). Au reste, il est vraisemblable que de part et d'autre on s'est formé des opinions extrêmes. Les plantes soutirent probablement de l'atmosphère beaucoup plus que ne le supposent généralement les agriculteurs, et le sol fournit certainement à la végétation une proportion de matière organique supérieure à ce qu'on pourrait imaginer d'après les supputations de certains physiologistes. Il est même à peu près certain, d'après les observations que j'ai recueillies sur l'emploi du *guano*, pendant mon séjour sur la côte du Pérou, que la majeure partie des principes azotés des plantes a pour origine les sels ammoniacaux qui existent ou se forment dans les engrais (4).

Quand on arrive à discuter l'avantage que peut présenter

(1) Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, page 268.

(2) *Annales administratives et scientifiques de l'agriculture française*, n° 34, page 57.

(3) Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, page 171.

(4) *Annales de chimie et de physique*, année 1838.

telle rotation de culture sur telle autre, on trouve presque toujours que la discussion roule sur une question d'épuisement. Pour faire comprendre comment la théorie peut aborder cette étude, j'exposerai, aussi brièvement que possible, le but et l'état actuel de l'art des assolements.

Là où l'on peut se procurer en quantité illimitée les engrais et la main-d'œuvre, il n'y a pas nécessité absolue de suivre un système régulier de rotation. Quand on se trouve placé dans des conditions aussi favorables, on se borne à examiner quelle est, sous le rapport commercial, la culture la plus avantageuse que peuvent permettre le climat et la nature du sol. On a même peu à redouter que par une culture continue les champs viennent à s'infecter de plantes nuisibles; parce que, avec du travail, on peut remédier à ce grave inconvénient. On n'a pas à craindre davantage l'appauvrissement du sol, puisqu'on peut avoir recours à des achats d'engrais. Tout l'art de l'agriculteur se réduit alors à comparer la valeur probable de la récolte à la dépense en fumier, main-d'œuvre, etc. Une semblable culture peut se passer de l'entretien et de la propagation du bétail; aussi doit-on la considérer moins comme de l'agriculture que comme une sorte de jardinage.

Mais dans la plupart des exploitations agricoles, et l'on doit nommer ainsi les établissements qui ne peuvent tirer les engrais du dehors, tout se passe différemment. Ici, on est assujetti à suivre un système; et la quantité de produits qu'il est possible d'exporter chaque année se trouve comprise dans certaines limites qu'on ne dépasse jamais impunément.

Lorsque, par une culture rationnelle, on est arrivé à posséder des terres fertiles, il faut pour entretenir cette fertilité, leur rendre périodiquement, après chaque succession de

récoltes, des quantités égales d'engrais. En envisageant cette condition sous un point de vue purement chimique, on peut dire que le produit que l'on peut exporter sans nuire à la fertilité du terrain, est la matière organique contenue dans les récoltes, déduction faite de la matière organique qui se trouvait dans les engrais. En effet, cette dernière matière, sous une forme ou sous une autre, doit retourner dans le sol pour le féconder de nouveau. C'est un capital que l'on confie à la terre, et dont l'intérêt est représenté par le produit marchand de l'exploitation.

Là où les terres sont étendues, les populations éparses, les moyens de communication difficiles, il est moins nécessaire de s'astreindre à une culture régulière. La terre donne toujours assez, lorsqu'il s'agit de nourrir de chétives populations. Un champ produira des céréales, et, après la récolte, il sera rendu à la prairie pour une longue suite d'années; c'est là le système pastoral dans toute sa pureté. C'est encore à cet état primitif de l'art agricole qu'il faut rattacher les plantations sur défrichements qui ont lieu dans les contrées couvertes de forêts. Lorsque les arbres abattus ont été brûlés sur place, le sol donne pendant une longue suite d'années, et sans qu'il soit nécessaire de l'amender, des récoltes de maïs, de froment d'une richesse surprenante, aux dépens d'une fécondité acquise par des siècles de repos.

Mais quand l'accroissement de la population eut donné aux terres une plus grande valeur, on demanda au sol une plus grande quantité de produits. Les cultures imparfaites dont j'ai parlé devinrent insuffisantes. On chercha à faire revenir fréquemment sur les mêmes soles les céréales; en un mot, la culture des grains fut régularisée, l'art fit ses premiers pas dans la voie du perfectionnement. C'est de cette époque

que date l'assolement triennal, système très-anciennement adopté dans le nord de l'Europe, et qui consiste, comme on sait, en une jachère morte avec plusieurs labours pendant l'été, suivie de deux années de céréales. La jachère reçoit une certaine quantité d'engrais pour réparer l'épuisement occasionné par les deux récoltes de grains; aussi faut-il toujours avoir, lorsque l'on adopte cet assolement, une surface suffisante de prairies destinées à fournir le supplément d'engrais.

On a toujours considéré comme un grave inconvénient de l'assolement triennal, la condition de laisser inculte une surface aussi considérable, comme le tiers du sol. Aussi chercha-t-on, à diverses reprises, à supprimer la jachère. On était encouragé dans cette tentative par l'exemple de la culture des jardins dont la terre est rendue continuellement productive (1). On savait aussi que dans certaines contrées, la culture n'est interrompue que par les saisons rigoureuses.

D'un autre côté, on avait depuis longtemps fait la remarque, qu'il n'est pas toujours avantageux de cultiver, pendant plusieurs années consécutives, des céréales sur le même terrain, même quand la fertilité, ou une abondance d'engrais permettent cette culture continue, à cause de la difficulté, souvent insurmontable, de détruire les plantes nuisibles. La jachère était reconnue avec raison comme le moyen le plus efficace et le plus économique à opposer à leur envahissement. Aussi, dans tous les essais qui furent tentés dans l'objet de rendre la terre plus productive, on eut pour but principal d'utiliser l'année de jachère, en introduisant dans la rotation une culture qui permît d'extirper les mauvaises herbes. On nomma récoltes-jachères, les produits récoltés sur la sole

(1) Thaer, *Agriculture raisonnée.*

qui, dans l'ancienne culture, restait improductive. Les pois, les fèves, les vesces furent d'abord les seules plantes dont la culture remplaçât la jachère.

Cependant on ne tarda pas à s'apercevoir que les récoltes-jachères occasionnaient une très-sensible diminution sur le produit des grains; pour remédier à cet inconvénient, il fallut avoir recours à un surcroît d'engrais; mais comme l'engrais est presque toujours en quantité limitée dans un établissement, il s'ensuivit, ou qu'il fallut réduire la surface cultivée, ou bien lui affecter une certaine surface de prairies.

Néanmoins, les récoltes-jachères produisirent un résultat très-avantageux, en ce qu'elles permirent de tirer du terrain une plus grande quantité de produits dans un temps donné sans qu'il en résultât d'inconvénients graves pour la culture des grains. Aussi, la méthode d'utiliser la jachère se propagea de jour en jour, et fut bientôt presque généralement adoptée.

L'introduction du trèfle dans la culture ordinaire vint apporter de grandes modifications au système des récoltes-jachères; on crut même pendant un instant être arrivé à un point de perfection tel, qu'on l'envisageait comme la limite de l'art agricole (1). Ce fut lorsqu'on eut reconnu que le trèfle, que l'on cultivait seulement dans quelques enclos, pouvait être semé au printemps dans une céréale et occuper l'année suivante la sole de la jachère de l'assolement triennal. Le trèfle, loin d'épuiser la terre, lui procurait une nouvelle dose de fertilité, et la céréale qui lui succédait donnait une récolte abondante. On conçoit aisément tous les avantages que l'on était en droit d'espérer, en substituant à la

(1) Thaer, *Agriculture raisonnee.*

jachère improductive, la culture d'une plante qui, sans appauvrir le terrain, donnait une quantité considérable de fourrage excellent, et permettait ainsi d'entretenir un plus grand nombre d'animaux. On allait même jusqu'à assurer que cette plante purgeait les champs des herbes nuisibles.

Il ne fallut que quelques années d'expérience pour se convaincre que le trèfle ne présente pas exactement les avantages exagérés qu'on lui attribuait. On reconnut qu'en faisant revenir ce fourrage tous les trois ans sur la même sole, on s'exposait à le voir manquer. Schubart lui-même, le défenseur le plus zélé et le plus éclairé du trèfle, modifia ses idées en présence des faits, et limita le retour de la prairie artificielle, d'abord à la sixième, puis à la neuvième année. Schubart finit également par reconnaître que le trèfle ne suffit pas pour détruire complétement les herbes qui infectent les céréales; il fut conduit en conséquence à cultiver également sur la sole de jachère des plantes sarclées.

Nous voyons que les différents essais qui ont été faits depuis l'époque mémorable de l'introduction du trèfle dans la grande culture, ont conduit naturellement au système d'assolements alternes généralement adopté aujourd'hui dans les contrées qui sont au niveau des progrès de l'agriculture moderne. On est même arrivé à ce résultat, beaucoup plus avantageux que ne l'espérait en dernier lieu le comte de Schubart, que le trèfle peut revenir tous les quatre ou cinq ans sur la même sole.

L'impossibilité de remplacer la jachère de l'assolement triennal par le trèfle fut présentée comme une nouvelle preuve du principe admis depuis un temps immémorial par les agriculteurs, de cultiver successivement sur la même sole

des plantes d'espèces différentes, et de ne ramener les mêmes espèces qu'à des intervalles plus ou moins grands. La terre donne des fruits incomparablement plus beaux, lorsque les mêmes récoltes ne se succèdent pas immédiatement (1).

On a cherché, à diverses époques, à expliquer la cause qui oblige à ne pas cultiver continuellement la même plante sur le même terrain. On se demanda d'abord si les diverses espèces végétales ont besoin d'une nourriture particulière ; mais on vit bientôt qu'il n'en est pas ainsi, et que les organes de chaque plante tirent les sucs qui lui sont nécessaires, des substances qui concourent à la nutrition des végétaux en général. En effet, les plantes les plus opposées par leurs caractères botaniques et par leurs propriétés, celles qui sont alimentaires comme celles qui sont vénéneuses au plus haut degré, peuvent vivre et prospérer sur la même motte de terre, aux dépens d'un engrais commun. De plus, ces plantes s'enlèvent réciproquement leur nourriture, ce qui n'arriverait certainement pas, si chacune de ces espèces exigeait des éléments de nutrition différents (2).

Une fois qu'on eut admis que les organes des plantes élaborent une nourriture commune des sucs nourriciers qui dérivent des engrais, on imagina que les végétaux d'organisations diverses ont, en raison de l'extension et du développement plus ou moins considérable de leurs racines, la faculté d'aller chercher, à différentes profondeurs, la matière nutritive contenue dans le sol. On expliquait ainsi, comment un végétal, à racines longues et pivotantes, peut, en succédant à une céréale, utiliser l'engrais situé dans les parties infé-

(1) Thaer, *Agriculture raisonnée.*
(2) Thaer, *id.*

rieures de la couche de terre arable. Il est possible que, dans certaines circonstances, il se passe une action de ce genre, mais cette explication ne saurait être généralisée.

Une autre explication de la nécessité de l'alternance des récoltes est fondée sur le rôle que l'on fait jouer à l'excrétion des racines, excrétion que l'on compare à la matière excrémentielle des animaux.

L'excrétion des racines, observée d'abord par Brugman sur le *viola arvensis* (1), a été confirmée par les observations récentes de M. Macaire. Ce physiologiste obtint la matière exsudée de certaines plantes en tenant leurs racines dans l'eau; et ce qu'il y a de surprenant, c'est qu'il lui a été impossible de reconnaître la même matière dans du sable siliceux, au milieu duquel on avait fait croître certains végétaux (2). Ce dernier fait est entièrement conforme à ce que j'ai reconnu dans une suite de recherches sur la végétation ; il ne m'a pas été possible de trouver des traces sensibles de matière organique dans du sable qui avait servi de sol, pendant plusieurs mois, à du froment et à du trèfle; résultats qui peuvent faire douter encore du fait même de l'excrétion des racines. L'excrétion que l'on a constatée, en tenant les racines plongées dans l'eau, est peut-être due à un état morbide de la plante.

Quoi qu'il en soit, c'est en admettant l'excrétion des racines que MM. de Humboldt et Plenck ont expliqué la cause des attractions et des répulsions de certaines plantes (3).

---

(1) De Candolle, tome I, page 248.

(2) De Candolle, tome III, page 1497.

(3) De Candolle, tome III, page 1474.

Plus récemment, M. de Candolle a reproduit cette idée, en la présentant comme la base d'une théorie des assolements. En supposant, en effet, que l'excrétion des racines représente les excréments des végétaux, on conçoit assez bien que ces excrétions, une fois déposées dans le sol, peuvent être tout aussi nuisibles à la plante qui les a produites, que le seraient à un animal ses excréments, si on les lui présentait comme aliments. Par contre, en changeant d'espèces dans la culture, la plante nouvellement admise dans le sol profitera des excrétions de la récolte précédente, en les absorbant comme nourriture. Cette ingénieuse hypothèse ne me paraît pas reposer sur des observations assez nettes. Elle pèche par sa base, en ce que le fait de l'excrétion des racines ne semble pas suffisamment établi. D'un autre côté, et en admettant même cette excrétion comme parfaitement démontrée, il est bon nombre de faits qui viennent établir que beaucoup de plantes peuvent continuer à végéter dans un sol chargé de leurs matières excrémentielles. La culture des céréales, par exemple, peut, à la rigueur, se suivre sans interruption : c'est, au reste, ce qui a lieu dans l'assolement triennal. J'ai vu, sur les plateaux des Andes, des terres à blé qui donnent annuellement, depuis plus de deux siècles, de bonnes récoltes de grains.

Le maïs peut également se reproduire continuellement sur le même terrain, sans le moindre inconvénient; c'est un fait bien connu dans le midi de l'Europe; et sur une grande partie de la côte du Pérou, la terre ne produit pas autre chose depuis une époque bien antérieure à la découverte de l'Amérique.

La pomme de terre peut encore revenir toujours sur la même sole. A Santa-Fé, les cultures de ce tubercule se sui-

vent sans interruption, et nulle part on n'obtient des produits de meilleure qualité. L'indigo, la canne à sucre doivent se ranger dans la même catégorie. En Europe, le topinambour revient constamment à la même place (1). Il faut bien admettre que, si toutes ces plantes produisent réellement des excrétions radicales, ces excrétions ne sont pas de nature à entraver la marche de la végétation des espèces qui les ont produites.

Mais l'objection capitale que l'on doit faire à l'hypothèse de M. de Candolle, c'est qu'il est très-étonnant qu'une matière organique soluble, comme l'est celle des excrétions, ne se putréfie pas lorsqu'elle est déposée dans un sol humide; il est, en un mot, fort difficile de supposer qu'une semblable matière puisse résister, comme on le prétend, pendant plusieurs années, à la décomposition que subissent toutes les substances organiques, soumises à l'influence réunie de la chaleur et de l'humidité.

Que la nécessité d'alterner les cultures ne soit pas aussi absolue que beaucoup d'observateurs le prétendent, lorsque surtout on a de l'engrais et de la main-d'œuvre à sa disposition, c'est ce qu'on admettra volontiers. Cependant, il est

---

(1) A cette liste je puis ajouter, d'après les recherches récentes de M. Braconnot, le laurier rose à fleurs doubles et le *papaver somniferum*. Ce célèbre chimiste termine son mémoire par les réflexions suivantes : « Les expériences que je viens de présenter ne sont pas favorables, comme « on le voit, à la théorie des assolements, fondée sur les excrétions des « racines. Ces excrétions, si réellement elles ont lieu à l'état normal, sont « d'ailleurs si obscures et si mal connues, qu'il y a lieu de présumer que « c'est à d'autres causes qu'il faut avoir recours pour parvenir à expliquer « le système général des rotations. » Recherches sur l'influence des plantes sur le sol. *Annales de chim. et de phys.*, tom. 72, page 27.

hors de doute qu'il est certaines plantes qui ne peuvent se reproduire avantageusement sur le même terrain, qu'à des époques plus ou moins éloignées. La cause de cette exigence de la part de certaines espèces végétales, est encore enveloppée d'une profonde obscurité, et les hypothèses proposées pour l'expliquer sont tout au moins incomplètes.

Un des avantages marqués de la culture alterne, c'est de cultiver périodiquement des plantes améliorantes. C'est en faisant alterner, autant que possible, ces plantes avec les cultures qui épuisent le sol, que le cultivateur répare, en partie du moins, les pertes éprouvées par le terrain. Ce qu'il convient de chercher dans un assolement, c'est un système de culture qui permette de produire le plus de matière végétale avec le moins d'engrais, et dans le plus court espace de temps possible. Or, on ne peut réaliser un tel système qu'en cultivant, dans le cours de la rotation, des plantes qui puisent considérablement dans l'atmosphère.

En théorie, l'assolement le plus avantageux est celui dont la quantité de matière organique produite dans le cours de la rotation excède le plus la quantité de matière organique introduite dans le sol à l'état d'engrais. Ce qui revient à dire que le meilleur assolement est celui qui prélève le plus sur l'air. C'est du moins ce que l'analyse formule; mais dans la pratique il n'en est pas absolument ainsi. C'est moins la quantité de matière organique produite en sus de celle contenue dans les engrais, que la valeur de cette même matière, qui intéresse la spéculation agricole. La matière organique en excès qu'il importe de produire, et la forme sous laquelle elle doit être produite, doit nécessairement varier à l'infini, selon les localités, les exigences du commerce et les habitudes des populations : considérations qui toutes demeurent en

dehors des prévisions théoriques. Mais un point sur lequel la théorie ne saurait transiger avec la pratique, est celui par lequel elle établit, que dans aucun cas il n'est possible d'exporter plus de matière organique, et particulièrement plus de matière organique azotée, que l'excès en sus de la même matière contenue dans les engrais consommés dans le cours de l'assolement. En agissant autrement, on diminuerait infailliblement la fertilité normale du sol.

Cette condition qui se pose comme limite infranchissable de l'exportation d'un établissement rural, autorise à critiquer les idées exagérées qui surgissent presque toujours lorsqu'il s'agit de méthodes nouvelles à introduire dans la pratique. La fabrication du sucre de betteraves en offre un exemple. L'agriculture européenne retirera probablement certains avantages de cette nouvelle industrie; mais on exagère souvent ces avantages, en établissant, comme ne craignent pas de le faire quelques personnes, que chaque exploitation agricole pourra retirer le sucre des betteraves cultivées actuellement dans les rotations adoptées, sans nuire au rendement du domaine; de sorte que le sucre, déduction faite des frais d'extraction, sera une nouvelle rente qui viendra s'ajouter à la rente ordinaire. Là me paraît être l'erreur.

Si dans un domaine, on récolte annuellement 100000 kilogrammes de betteraves pour l'entretien du bétail, on se trouvera dans la nécessité de diminuer le nombre des animaux, si les racines sont destinées à la fabrication du sucre. La matière organique du sucre extrait de la betterave est autant de nourriture enlevée au bétail. Soutenir le contraire, serait soutenir également que les pommes de terre récoltées sur un hectare de terrain, et qui passent par l'alambic avant d'être fourragées, peuvent nourrir autant

d'animaux que lorsqu'elles sont consommées directement. C'est aussi ce qui a été soutenu par plusieurs cultivateurs; mais aujourd'hui le contraire n'est contesté par personne. Les principes organiques de la pomme de terre qui sont transformés en alcool, sont évidemment perdus pour la nutrition.

Ceci ne veut pas dire que la fabrication du sucre indigène, la distillation des tubercules, soient des opérations moins avantageuses que la propagation et l'engrais du bétail. Cette discussion est uniquement pour rappeler qu'il n'y a qu'une quantité limitée de matière organique qui puisse avantageusement être exportée d'un établissement agricole. C'est à la localité, à la position commerciale à décider si cette matière doit s'exporter à l'état de sucre, de céréales, d'alcool, ou de viande.

Ce que je viens de dire paraît être en contradiction manifeste avec les idées généralement reçues. On pense en effet que l'industrie sucrière, loin de nuire, favorise au contraire la propagation du bétail. Il résulte même de l'enquête parlementaire ouverte à ce sujet, en 1836, que dans certains domaines où l'on a introduit l'extraction du sucre, on a vu augmenter le nombre des animaux : les chiffres rapportés dans les réponses provoquées par l'enquête sont, je n'en doute pas, exacts, mais il convient de remarquer que cette augmentation du bétail est due bien plus à un perfectionnement dans la culture qu'à la fabrication du sucre proprement dite. Dans des établissements où l'on suivait encore l'assolement triennal avec jachère, on a introduit un assolement de quatre ou cinq ans, avec trèfle et récolte sarclée; il n'est pas surprenant qu'on ait obtenu, indépendamment de la betterave, une augmentation considérable dans les produits. L'introduction d'une sole de cette racine, là où elle

n'était pas admise, est déjà une importante amélioration. Mais dans les pays qui sont au niveau des progrès agricoles ; là où les assolements les plus productifs sont suivis depuis longtemps, l'extraction du sucre ne saurait apporter les changements si extraordinairement avantageux, signalés dans l'enquête. Si à Bechelbronn on trouvait un jour, et ce jour paraît fort éloigné, qu'il fût convenable d'extraire le sucre des betteraves que l'on y récolte, il faudrait certainement diminuer le nombre du bétail, ou bien annexer à l'exploitation de nouvelles prairies. Ainsi, dans mon opinion, c'est indirectement, et en répandant les bonnes méthodes de cultures, que la fabrication du sucre indigène favorise la propagation du bétail ; et il faut convenir que ce n'est pas le moindre des services que cette belle industrie est appelée à rendre à l'agriculture française.

Dans la définition que j'ai donnée du cours de récolte le plus avantageux, considéré sous le rapport théorique, on a pu comprendre comment l'étude des assolements est liée à la question de l'épuisement du sol. Pour discuter la valeur respective de divers assolements, il faut, d'après la théorie, comparer la quantité de matière organique contenue dans une suite de récoltes, à celle qui entrait dans l'engrais consommé pour les obtenir.

Dans un domaine bien dirigé, et dans lequel on suit depuis de longues années le même système de culture, on est à même, sans aucun doute, de recueillir des données suffisamment exactes, pour jeter du jour sur cette discussion, et décider quelle est, pour un cas particulier de climat et de terrain, la rotation qui produit la plus forte proportion de matière organique en sus des engrais employés.

C'est ce que j'ai fait pour le domaine de Bechelbronn, en déterminant par l'analyse la composition des engrais et des récoltes. J'avoue qu'avant de me livrer à ces recherches, j'ai été arrêté un instant par le travail matériel assez rebutant que j'avais à exécuter; mais je n'ai pas hésité, lorsque j'ai compris qu'indépendamment de la question importante que j'avais en vue, mes analyses présenteraient encore la composition élémentaire des aliments végétaux les plus usités.

Depuis fort longtemps on a adopté à Bechelbronn l'assolement de cinq ans. La rotation est la suivante :

Annees.

1re, pommes de terre ou betteraves fumées.
2e, froment semé en automne de la 1re année. Trèfle intercalé au printemps.
3e, trèfle, deux coupes. Enfouissage de la dernière pousse.
4e, froment sur trèfle rompu. Récolte dérobée de navets.
5e, avoine.

La récolte d'avoine qui termine la rotation est généralement assez faible. Le sol est alors revenu à peu près au point de fécondité où il se trouvait avant la fumure, et on sait par expérience qu'il n'y aurait plus possibilité d'en tirer une récolte de quelque valeur.

Je procéderai maintenant à l'analyse des différentes substances qui entrent dans la rotation, en indiquant en même temps le produit moyen par hectare.

POMMES DE TERRE.

Dans les terres un peu fortes de Bechelbronn, un hectare produit en moyenne 12,800 kilogrammes de tubercules. Ce ré-

sultat est inférieur à ce qui est généralement donné pour l'Alsace, où l'on porte la récolte de 19 à 20,000 kilogrammes. Les fanes de pommes de terre sont laissées sur le terrain.

Une pomme de terre a été coupée en deux, afin de soumettre à l'analyse une partie proportionnelle de la pelure qui recouvre ce tubercule. Cette moitié pesait $71^{gr},710$. Desséchée à l'étuve de manière à pouvoir se réduire en farine, elle a pesé $18^{gr},745$. Par une dessiccation absolue faite dans le vide sec à la température de 110°, on trouva que 1 de tubercule devient sec 0,241. $1^{gr},0$ de tubercule a laissé cendres 0,039.

I. 0,298 de matière sèche ont donné : acide carbonique 0,471, eau 0,162
II. 0,322 ..... 0,516 0,165
0,633 ont donné : azote $6^{c.c.},0$, th. 8°, barom. $0^{m},744$ = azote 1,12
0,554 ..... $6^{c.c.},0$, th. 7°, barom. $0^{m},731$ = azote 1,27

Le résultat moyen pour l'azote est 1,2. En 1836 j'ai trouvé azote 1,8. Cette différence assez considérable provient peut-être de ce que les analyses que je viens de rapporter n'ont pas été faites immédiatement après la récolte. Il se peut aussi que cette différence soit due en partie aux influences météorologiques. Pour me convaincre qu'elle ne provient pas d'une erreur d'analyse, j'ai examiné de nouveau la pomme de terre de 1836 conservée à l'état de farine; elle a donné 1,8 d'azote. J'admettrai donc dans la pomme de terre desséchée 1,5 d'azote.

	I.	II.
Carbone.....	43,72	43,35
Hydrogène.....	6,00	5,60
Oxygène.....	44,88	44,60
Azote.....	1,50	1,50
Cendres.....	3,90	3,90
	100,00	100,00

FROMENT.

Dans un précédent mémoire, j'ai donné l'analyse d'un froment récolté dans un bon terreau de jardin. Aussi ai-je trouvé la proportion d'azote beaucoup plus grande que celle que j'avais reconnue en 1836 dans la même espèce de froment cultivée dans les conditions ordinaires; résultats conformes à ceux obtenus par Hermbstœdt. Dans le présent travail, j'avais besoin de connaître la composition du blé produit pendant le cours de l'assolement : j'ai pour ce motif analysé le grain récolté en 1837. Cette analyse permettra de comparer plus exactement qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, l'influence de l'engrais sur la qualité du grain. Le froment dont j'ai déjà donné la composition, est exactement de la même espèce; les deux récoltes ont été faites dans la même année, par conséquent leurs cultures ont eu lieu sous les mêmes influences climatériques.

FROMENT RÉCOLTÉ DANS L'ASSOLEMENT.

1 de froment, desséché à 110° dans le vide sec, s'est réduit à 0,855. 1 de froment sec a laissé cendres 0,0243.

0,452 ont donné acide carbonique 0,753, eau
0,533 ont donné azote $10^{c.c.}$, 5, th. 12,5, barom. 0^{m},744

COMPOSITION DU FROMENT

	cultivé dans les champs.	cultivé dans le terreau.
Carbone.....	46,10	45,51
Hydrogène...	5,80	5,67
Oxygène	43,40	43,00
Azote.....	2,29	3,51
Cendres.....	2,43	2,31
	100,00	100,00

Le produit moyen en froment, à Bechelbronn, varie de 18 à 19 hectolitres par hectare; cette variation dépend de la plante sarclée qui ouvre la rotation. Après les pommes de terre on récolte en moyenne 17 hectolitres; après les betteraves, 15 hectolitres; sur trèfle rompu, 21 hectolitres. Le poids moyen de l'hectolitre est de 79 kilogrammes.

PAILLE DE FROMENT.

Le rapport du produit en grain au produit en paille est :: 44 : 100. Dans la culture du froment dans le terreau, et par une seule détermination, ce rapport s'est trouvé de 33 à 100.

1 de paille en se desséchant complétement dans le vide à 111°, devient 0,740. 1 de paille sèche a laissé cendres 0,0697.

I. 0,303 ont donné acide carbonique 0,531, eau 0,149
II. 0,293 ..... 0,5195 0,140
0,551 ont donné azote $1^{c.c.}$,7, th. 14°, barom. 0^{m},748

	I.	II.
Carbone.....	48,48	48,38
Hydrogène.....	5,41	5,21
Oxygène.....	38,79	39,09
Azote.....	0,35	0,35
Cendres.....	6,97	6,97
	100,00	100,00

TRÈFLE.

Le produit moyen de ce fourrage réduit en foin est à Bechelbronn de 5100 kilogrammes par hectare.

1 de foin de trèfle, après dessiccation complète, a pesé 0,790; 1 de foin sec a laissé cendres 0,078.

I. 0,288 ont donné acide carbonique 0,495, eau 0,122
II. 0,285..... 0,4865.... 0,138
0,532 ont donné azote $8^{c.c.},7$, th. 8°, barom. $0^{m},727$

	I.	II.
Carbone.....	47,53	47,19
Hydrogène.....	4,69	5,33
Oxygène.....	37,96	37,66
Azote.....	2,06	2,06
Cendres.....	7,76	7,76
	100,00	100,00

NAVETS.

On cultive le navet en récolte dérobée, aussi ce produit est-il fort chanceux. On tente la culture sur la sole de froment qui a remplacé le trèfle.

Lorsqu'on cultive le navet en première sole fumée, le produit est considérable; dans quelques localités il s'élève à 7 à 800 quintaux métriques. En récolte dérobée nous n'obtenons en moyenne que 180 quintaux métriques par hectare; cette récolte est casuelle : on ne la compte que pour une demi-récolte dans les produits de l'assolement, soit : 9550 kilogrammes.

Le navet est la plus aqueuse des racines que j'aie encore examinées. Un segment de navet pesant $88^{gr},610$, desséché à l'étuve, s'est réduit à $7^{gr},130$. Par une dessiccation complète, 1 de navet a pesé 0,075; cette racine contenait par conséquent 92,5 d'eau; 1 de racine desséchée a laissé 0,0758 de cendres.

I. 0,321 ont donné acide carbonique 0,497, eau 0,181
II. 0,355..... 0,520, eau 0,190
0,942 ont donné azote $13^{c.c.},0$, th. 10°, barom. $0^{m},747$ = azote 1,61
0,595..... $8^{c.c.},7$, th. 5,5, barom. $0^{m},744$ = azote 1,74

	I.	II.
Carbone	42,80	42,93
Hydrogène	5,54	5,61
Oxygène	42,40	42,20
Azote	1,68	1,68
Cendres	7,58	7,58
	100,00	100,00

AVOINE.

Comme cette céréale ferme la rotation, le produit est peu important. Nous récoltons en moyenne 32 hectolitres par hectare, au poids de 42 kilogrammes. 1 d'avoine desséchée complétement pèse 0,792. 1 d'avoine sèche a laissé cendres 0,0398.

I. 0,345 ont donné acide carbonique 0,628, eau 0,198
II. 0,366 ..... 0,676, eau 0,213
0,569 ont donné azote $10^{c.c.}$,7, th. 7°, barom. 0^{m},743 = azote 2,24.
En 1836 l'avoine desséchée m'a fourni azote 2,22.

	I.	II.
Carbone	50,32	51,09
Hydrogène	6,32	6,44
Oxygène	37,14	36,25
Azote	2,24	2,24
Cendres	3,98	3,98
	100,00	100,00

PAILLE D'AVOINE.

La paille d'avoine est évaluée à 1800 kilogrammes par hectare. 1 de paille devient dans le vide sec 0,713. 1 de paille sèche a laissé 0,0509 de cendres.

I. 0,293 ont donné acide carbonique 0,529, eau 0,141

II. 0,279 ..... 0,507, eau 0,139

0,542 ont donné azote $1^{c.c.},8$, th. 13°, barom. $0^{m},744$ = azote 0,38

	I.	II.
Carbone.....	49,93	50,25
Hydrogène.....	5,32	5,48
Oxygène.....	39,28	38,80
Azote.....	0,38	0,38
Cendres.....	5,09	5,09
	100,00	100,00

BETTERAVES CHAMPÊTRES.

En première sole fumée, le produit moyen en betterave est à Bechelbronn de 263 quintaux métriques par hectare. Les récoltes les plus mauvaises ne descendent pas au-dessous de 125 quintaux, et les meilleures ne dépassent pas 400 quintaux. Ces résultats diffèrent sensiblement de ceux qui ont été obtenus dans diverses localités. Schwertz et Thaer portent cette moyenne à 360 quintaux métriques. Mœlinger, d'après une moyenne de dix ans, adopte 271 quintaux. A Roville, M. de Dombasle donne 175 quintaux comme moyenne de 7 années.

A Bechelbronn les feuilles de betteraves ne sont pas données au bétail, on les laisse sur le terrain. Un morceau de betterave pesant $56^{gr},240$ s'est réduit à $7^{gr},320$ après une dessiccation faite à l'étuve. Par une dessiccation complète à 110°, 1 de racine est devenu 0,122; 1 de racine a laissé cendres 0,0624.

I. 0,3275 ont donné acide carbonique 0,506, eau 0,171
II. 0,293 ..... 0,455, eau 0,158
0,9385 ont donné azote $13^{c.c.}$,3, th. 9,5, barom. 0^{m},748 = azote 1,68
0,563 ..... $8^{c.c.}$,0, th. 9,5, barom. 0^{m},728 = azote 1,63

	I.	II.
Carbone.....	42,75	42,93
Hydrogène.....	5,77	5,94
Oxygène.....	43,58	43,33
Azote.....	1,66	1,66
Cendres.....	6,24	6,24
	100,00	100,00

SEIGLE.

Le seigle est rarement introduit dans les rotations suivies à Bechelbronn. On estime son produit à 23 hectolitres lorsqu'il a été récolté sur pois ou vesces ayant reçu un supplément d'engrais. L'hectolitre pèse 73 kilogrammes. On admet que pour le seigle, le rapport du grain à la paille est :: 45 : 100. 1 de seigle desséché à 110° a pesé 0,834. 1 de seigle sec a laissé 0,0237 de cendres.

I. 0,342 ont donné acide carbonique 0,573, eau 0,167
II. 0,381 ..... 0,630, eau 0,197
III. 0,406 ..... 0,681, eau 0,210
0,458 ont donné azote $6^{c.c.}$,7, th. 7°, barom. 0^{m},735 = azote 1,72
0,834 ..... $11^{c.c.}$,7, th. 8°, barom. 0^{m},735 = azote 1,65

	I.	II.	III.
Carbone.....	46,35	45,72	46,38
Hydrogène.....	5,38	5,70	5,74
Oxygène.....	44,21	44,52	43,82
Azote.....	1,69	1,69	1,69
Cendres.....	2,37	2,37	2,37
	100,00	100,00	100,00

PAILLE DE SEIGLE.

1 de paille desséchée complétement a pesé 0,813. 1 de paille sèche a donné 0,0368 de cendres.

I. 0,293 ont donné acide carbonique 0,520, eau perdue
II. 0,310 ..... 0,559, eau 0,158
0,445 ont donné azote $1^{c.c.}$,2, th. 13°, barom. 0^{m},747 = azote 0,30

Carbone	49,88
Hydrogène	5,58
Oxygène	40,56
Azote	0,30
Cendres	3,68
	100,00

POIS JAUNES.

Récoltés sur sole fumée ils produisent 14,2 hectolitres par hectare au poids de 78 kilogrammes l'hectolitre. 1 de pois a pesé après complète dessiccation 0,914. 1 de pois secs a laissé cendres 0,0314.

I. 0,284 ont donné acide carbonique 0,473, eau 0,157
II. 0,314 ..... 0,534, eau 0,178
0,548 ont donné azote $19^{c.c.}$,3, th. 8°,5, barom. 0^{m},735 = azote 4,12
0,548 ..... $19^{c.c.}$,8, th. 8°,7, barom. 0^{m},735 = azote 4,23

	I.	II.
Carbone	46,06	46,94
Hydrogène	6,09	6,24
Oxygène	40,53	39,50
Azote	4,18	4,18
Cendres	3,14	3,14
	100,00	100,00

PAILLE DE POIS.

Un hectare cultivé en pois produit en moyenne 2790 kilogrammes de paille, considérée comme un excellent fourrage. 1 de paille de pois après dessiccation a pesé 0,882. 1 de paille a laissé cendres 0,1132.

I. 0,288 ont donné acide carbonique 0,477, eau 0,130
0,529 ont donné azote 11$^{c.c.}$,0, th. 8°,5, barom. 0^{m},731
0,529..... 10$^{c.c.}$,0, th. 10°,5, barom. 0^{m},744

Carbone.....	45,80
Hydrogène.....	5,00
Oxygène.....	35,57
Azote.....	2,31
Cendres.....	11,32
	100,00

TOPINAMBOURS.

En Alsace, les topinambours sont toujours cultivés sur la même sole. On fume tous les deux ans. A Bechelbronn, sur un terrain peu profond, on récolte par hectare :

	Kilogr.
Tubercules.....	26440
Tiges sèches.....	1410

Un tubercule qui pesait au sortir de terre 55^{gr},450, a pesé 11^{gr},550 après une dessiccation à l'étuve. Par une dessiccation absolue 1 de tubercule devient 0,208. 1 de topinambour sec a laissé 0,0594 de cendres.

I. 0,391 ont donné acide carbonique 0,6085 eau 0,209

II. 0,336..... 0,530 eau 0,177

0,629 ont donné azote $8^{c.c.},3$, th. 8°,5, barom. $0^{m},743$ = azote 1,56

0,676..... $9^{c.c.},0$, th. 7°,5, barom. $0^{m},735$ = azote 1,57

	I.	II.
Carbone.....	43,02	43,62
Hydrogène.....	5,91	5,80
Oxygène.....	43,56	43,07
Azote.....	1,57	1,57
Cendres.....	5,94	5,94
	100,00	100,00

TIGES SÈCHES DE TOPINAMBOURS.

Ces tiges avaient passé l'hiver sur place; elles sont presque entièrement formées de moelle. 1 de tige après dessiccation a pesé 0,871. 1 de tige sèche a laissé cendres 0,0276.

0,348 ont donné acide carbonique 0,5745, eau 0,171

0,354 ont donné azote $1^{c.c.},3$, th. 13°, barom. $0^{m},746$

Carbone.....	45,66
Hydrogène.....	5,43
Oxygène.....	45,72
Azote.....	0,43
Cendres.....	2,76
	100,00

Je crains que dans cette analyse le carbone ne soit dosé trop bas.

J'ai réuni dans deux tableaux les résultats des analyses dont je viens de donner les détails. Dans l'un sont indiquées la quantité de matière sèche et l'humidité contenues dans chacune des substances analysées; dans l'autre se trouve la

composition élémentaire. En examinant avec attention les nombres inscrits dans le second tableau, on remarque entre certaines substances une grande analogie de composition. Si l'on fait abstraction des cendres, l'analogie est alors complète, et l'on reconnaît que plusieurs substances, ayant d'ailleurs des caractères et des propriétés assez différentes, possèdent néanmoins la même composition; résultat singulier, que je n'entreprends pas d'expliquer.

I.

SUBSTANCES.	MATIÈRE SÈCHE.	EAU.
Froment	0,855	0,145
Seigle	0,834	0,166
Avoine	0,792	0,208
Paille de froment	0,740	0,260
Paille de seigle	0,813	0,187
Paille d'avoine	0,713	0,287
Pommes de terre	0,241	0,759
Betteraves	0,122	0,878
Navets	0,075	0,925
Topinambours	0,208	0,792
Pois	0,914	0,086
Paille de pois	0,882	0,118
Foin de trèfle	0,790	0,210
Tiges de topinambours	0,871	0,129

COMPOSITION DES MATIÈRES RÉCOLTÉES,

DESSÉCHÉES DANS LE VIDE A LA TEMPÉRATURE DE 110° CENTIGR.

SUBSTANCES.	CENDRES COMPRISES.					CENDRES DÉDUITES.			
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.	Cendres.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.
Froment.....	46.1	05.8	43.4	02.3	02.4	47.2	06.0	44.4	02.4
Seigle.....	46.2	05.6	44.2	01.7	02.3	47.3	05.7	45.3	01.7
Avoine.....	50.7	06.4	36.7	02.2	04.0	52.9	06.6	38.2	02.3
Paille de froment...	48.4	05.3	38.9	00.4	07.0	52.1	05.7	41.8	00.4
Paille de seigle.....	49.9	05.6	40.6	00.3	03.6	51.8	05.8	42.1	00.3
Paille d'avoine.....	50.1	05.4	39.0	00.4	05.1	52.8	05.7	41.1	00.4
Pommes de terre...	44.0	05.8	44.7	01.5	04.0	45.9	06.1	46.4	01.6
Better. champêtres.	42.8	05.8	43.4	01.7	06.3	45.7	06.2	46.3	01.8
Navets.....	42.9	05.5	42.3	01.7	07.6	46.3	06.0	45.9	01.8
Topinambours.....	43.3	05.8	43.3	01.6	06.0	46.0	06.2	46.1	01.7
Pois jaunes.....	46.5	06.2	40.0	04.2	03.1	48.0	06.4	41.3	04.3
Paille de pois.....	45.8	05.0	35.6	02.3	11.3	51.5	05.6	40.3	02.6
Trèfle rouge, foin..	47.4	05.0	37.8	02.1	07.7	51.3	05.4	41.1	02.2
Tiges de topinamb..	45.7	05.4	45.7	00.4	02.8	47.0	05.6	47.0	00.4

L'engrais employé à Bechelbronn est celui que l'on désigne communément sous le nom de fumier de ferme; engrais qui se compose des excréments de chevaux, du bétail, et de la paille de litière imprégnée d'urine. La fiente de poules, la colombine, les balayures de cours ont des destinations spéciales. Les animaux qui concourent à la production du fumier examiné sont :

30 chevaux,
30 bêtes à cornes,
12 à 20 porcs.

Le fumier est porté sur les terres lorsqu'il a subi la fermentation en tas; c'est de l'engrais à demi consommé; la paille de litière n'est pas entièrement décomposée, elle est encore molle, filamenteuse; à cet état le fumier retient une quantité considérable d'humidité.

DESSICCATION DES FUMIERS A DEMI CONSOMMÉS.

EXPÉRIENCE PREMIÈRE.

Engrais préparé pendant l'hiver 1837-1838. 117 kilogrammes de fumier pris au moment où on le transportait sur les terres, pesèrent 26 kilogrammes $\frac{1}{2}$ lorsqu'il eut été desséché de manière à pouvoir être réduit en poudre. La perte en eau a été de 77,3 pour 100. Ce nombre approche beaucoup de celui donné par plusieurs agriculteurs allemands pour exprimer l'humidité du fumier de ferme, humidité qu'ils évaluent à 75 pour cent. Néanmoins cette perte ne représente pas la totalité de l'eau; car, après une dessiccation à 100°,

les 26 kilogrammes $\frac{1}{5}$ ont pesé $24^{kil},84$. Enfin, par une dessiccation faite dans le vide sec à 110°, on a reconnu que 1 de fumier desséché à l'étuve perdait encore 0,039. On trouve ainsi qu'en totalité le fumier a perdu 79,62 pour 100 d'eau : il renfermait en conséquence 20,4 de matière sèche.

EXPÉRIENCE DEUXIÈME.

Engrais préparé dans l'hiver 1838-1839. 100 kilogrammes de fumier, après avoir été hachés, et séchés au soleil, ont pesé $25^{kil},5$. 1 de ce fumier sec s'est réduit, dans le vide sec, à la température de 110° à 0,872. Les 100 kilogrammes eussent pesé secs $22^{kil},2$.

EXPÉRIENCE TROISIÈME.

Engrais préparé durant l'été de 1839. 300 kilogrammes de fumier ont pesé, après une dessiccation au soleil, 69 kilogrammes. Ce fumier sec a été réduit en poudre. 1 partie de fumier sec a perdu, par une dessiccation à 110° dans le vide sec, 0,1461.

Les 69 kilogrammes eussent perdu $10^{kil},08$. Par conséquent les 300 kilogrammes de fumier contenaient $58^{kil},92$ de matière sèche. Soit pour 100, 19,64.

En résumé, la matière sèche du fumier à demi-consommé a été, pour 100 :

Première expérience.....	20,4
Deuxième expérience.....	22,2
Troisième expérience.....	19,6
En moyenne.....	20,7
Humidité.....	79.3

ANALYSES DES FUMIERS A DEMI CONSOMMÉS.

I. Engrais préparé dans l'hiver 1837-1838.

Matière 0,5595 ont donné acide carbon. 0,528, eau 0,157, C. 32,4, H. 3,8
0,5795 azote $7^{c.c.},7$, th. 10°, barom. $0^{m},7435$ = azote 1,7
1,0 cendres 0,462

II. Engrais préparé dans l'hiver 1837-1838.

Matière 0,575, acide carb. 0,676, eau 0,212, C. 32,5, H. 4,1
0,575, azote $8^{c.c.},3$, th. 11°, barom. $0^{m},744$ = azote 1,69
0,575, azote $8^{c.c.},8$, th. 13,5, $0^{m},745$ = azote 1,73
1,000, cendres 0,357

III. Engrais préparé dans l'hiver 1837-1838.

Matière 0,567, acide carb. 0,791, eau 0,232 = C. 38,7, H. 4,5
0,562, azote $8^{c.c.},3$, th. 11°,5, barom. $0^{m},744$ = azote 1,73
1,000, cendres 0,264

IV. Engrais préparé durant le printemps de 1838.

Matière 0,586, acide carb. 0,759, eau 0,208, C. 36,4, H. 4,0
0,576, azote $11^{c.c.},7$, th. 9°,5, barom. $0^{m},741$ = azote 2,4
1,000, cendres 0,381

V. Engrais préparé pendant le printemps de 1839.

Matière 0,445, acide carb. 0,643, eau 0,171, C. 40,0, H. 4,3
0,523, azote $10^{c.c.},3$, th. 4°,8, barom. $0^{m},747$ = azote 2,4
1,000, cendres 0,257

VI.

Matière 0,427, acide carb. 0,543, eau 0,150, C. 34,7, H. 3,9
0,427, acide carb. 0,530, eau 0,127, C. 34,3, H. 4,8
0,685, azote $11^{c.c.},0$, th. 4°,5, barom. $0^{m},750$ = azote 2,0
1,000, cendres 0,315

COMPOSITION DES FUMIERS ANALYSÉS.

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.	Sels et terre.
I.	32,4	3,8	25,8	1,7	36,3
II.	32,5	4,1	26,0	1,7	35,7
III.	38,7	4,5	28,7	1,7	26,4
IV.	36,4	4,0	19,1	2,4	38,1
V.	40,0	4,3	27,6	2,4	25,7
VI.	34,5	4,3	27,7	2,0	31,5
Moyenne.	35,8	4,2	25,8	2,0	32,2

Dans toutes ces analyses, la combustion a été aidée par l'addition du chlorate de potasse; on a toujours ajouté de l'oxyde antimonique. L'acide carbonique des cendres a été déterminé et défalqué.

La mesure de fumier en usage à Bechelbronn est le chariot attelé de 4 chevaux. Par plusieurs pesées on a trouvé que cette mesure contient 1818 kilogrammes de matière humide, ou 376$^{kil.}$,33 si on suppose l'engrais entièrement sec. La sole qui ouvre la rotation reçoit 27 voitures de cet engrais, pesant 49,086 kilogrammes, représentant 10,161 kilogrammes d'engrais sec. L'analyse montre que cette dose d'engrais, qui doit fertiliser le sol pendant le cours de la rotation (5 ans), contient :

	Kilogr.
Carbone.....	3637,6
Hydrogène.....	426,8
Oxygène.....	2621,5
Azote.....	203,2
Sels et terre.....	3271,9
	10,161,0

Tels sont les principes qui, par leur réunion, constituent la matière organique qui doit être consommée, en s'assimilant en partie aux produits végétaux récoltés. Je dis en partie, parce que je suis bien loin de penser que la totalité de cette matière organique doit nécessairement entrer dans la constitution des plantes qui naîtront pendant la durée de l'assolement. Nul doute qu'une partie notable de cet engrais ne soit perdue pour la végétation, en se décomposant spontanément, ou en se laissant entraîner par les eaux pluviales. Il est encore certain qu'une autre partie demeure longtemps dans le sol dans un état d'inertie, pour n'exercer son action fertilisante qu'à une époque plus ou moins éloignée, de même qu'il arrive que, dans la rotation actuelle, une partie de l'engrais antérieurement introduit agit de concert avec le nouvel amendement. Mais ce qui est bien établi, c'est que la proportion d'engrais que j'ai indiquée est indispensable pour atteindre nos récoltes moyennes, et qu'en la diminuant, on diminuerait également les produits de l'exploitation. Enfin, il est prouvé qu'après la rotation, les récoltes ont consommé cet engrais, et que la terre ne présenterait plus une culture productive, si on négligeait de lui restituer une dose égale de fumier.

Je comparerai maintenant, à l'aide des données que nous possédons, le rapport qui existe, pour divers assolements, entre la quantité de matière organique enfouie dans le sol comme engrais, et la quantité de la même matière qui se retrouve dans les produits récoltés.

Cette comparaison nous permettra de déterminer d'une manière approximative les proportions respectives de matière élémentaire, que les diverses sortes de récoltes prennent à l'air et au sol : en procédant ainsi nous arriverons à recon-

naître quels sont les assolements qui épuisent le moins la terre, c'est-à-dire, quelles sont les successions de cultures qui prélèvent sur l'atmosphère la plus forte proportion de matière organique.

Les assolements inscrits dans les tableaux 1 et 2 sont ceux qui ont été définitivement adoptés à Bechelbronn et dans la plus grande partie de l'Alsace. Ces deux rotations, qui ne diffèrent que par la plante sarclée, qui est la pomme de terre dans l'une et la betterave dans l'autre, ne présentent pas de différences essentielles; c'est à peu près la même quantité de matière sèche produite par hectare, à peu près la même quantité de matière organique prélevée sur l'atmosphère.

L'assolement n° 3 a été introduit par Schwertz à Hoheinheim; la théorie indique que c'est une des rotations les plus avantageuses; on a essayé cet assolement à Bechelbronn, mais on y a renoncé, parce qu'en raison de circonstances météorologiques, les pois et les féveroles manquent assez souvent.

Le tableau n° 4 montre l'assolement triennal avec jachère fumée. On peut voir que, sous le rapport théorique, cette culture offre un résultat désavantageux. La matière organique des récoltes n'excède que de très-peu la matière organique des engrais. En supposant même que la totalité de la paille soit transformée en fumier, on doit se trouver, comme on se trouve en effet, dans la nécessité de tirer des engrais du dehors, pour compenser l'épuisement que doit occasionner l'exportation du froment. On voit pourquoi l'assolement triennal exige toujours qu'une fraction très-forte du domaine soit en prairies.

Dans le tableau n° 5, je donne le résultat de la culture

continue du topinambour. A Bechelbronn, on fume les topinambours tous les deux ans avec 25 voitures de fumier par hectare, ou 45,450 kilogrammes. En moyenne, on retire dans les deux années 52,880 kilogrammes de tubercules, et 2820 kilogrammes de tiges ligneuses. On peut remarquer, en examinant les éléments de ce tableau, que la culture du topinambour présente théoriquement des avantages considérables. La matière organique de la récolte excède de beaucoup la matière organique de l'engrais. Au reste, cette culture, déjà fort répandue en Alsace, y est considérée comme une des plus productives qu'il soit possible d'adopter. Toutefois, dans les résultats théoriques, il faut tenir compte et déduire même la matière organique des tiges qui, dans la pratique, n'ont presque aucune utilité.

ASSOLEMENT N° 1.

ANNÉES.	SUBSTANCES.	RÉCOLTES par hectare.	RÉCOLTES sèches.	CARBONE.	HYDROG.	OXYGÈNE	AZOTE.	SELS et TERRES.
		Kilogr	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr	Kilogr	Kilogr.
1re	Pommes de terre.	12800	3085	1357,4	178,9	1379,0	46,3	123,4
2e	Froment.....	1343	1148	529,3	66,6	498,2	26,4	27,5
	Paille de froment.	3052	2258	1093,0	119,7	878,2	9,0	158,1
3e	Trèfle (en foin)...	5100	4029	1909,7	201,5	1523,0	84,6	310,2
4e	Froment.....	1659	1418	653,8	82,2	615,4	32,6	34,0
	Paille de froment.	3770	2790	1350,4	147,8	1085,3	11,2	195,3
	Navets dérobés...	9550	716	307,2	39,3	302,9	12,2	54,4
5e	Avoine.....	1344	1064	539,5	68,0	390,5	23,3	42,6
	Paille d'avoine....	1800	1283	642,8	69,3	500,4	5,1	65,4
	Somme.....	40418	17791	8383,1	973,3	7172,9	250,7	1010,9
	Engrais employé.	49086	10161	3637,6	426,8	2621,5	203,2	3271,9
	Différence.....	.....	+ 7630	+ 4745,5	+ 546,5	+ 5551,4	+ 47,5	— 2261,0

ASSOLEMENT N° 2.

ANNÉES.	SUBSTANCES.	RÉCOLTES par hectare.	RÉCOLTES sèches.	CARBONE.	HYDROG.	OXYGÈNE	AZOTE.	SELS et TERRES.
		Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr
1re	Betteraves.....	26000	3172	1357,7	184,0	1376,7	53,9	199,8
2e	Froment.....	1185	1013	467,0	58,8	439,6	23,3	24,3
	Paille de froment.	2693	1993	964,0	105,6	775,3	8,0	139,5
3e	Trèfle (en foin)...	5100	4029	1909,7	201,5	1523,0	84,6	310,2
4e	Froment.....	1659	1418	653,8	82,2	615,4	32,6	34,0
	Paille de froment.	3770	2790	1350,4	147,8	1085,3	11,2	195,3
	Navets dérobés...	9550	716	307,2	39,3	302,9	12,2	54,4
5e	Avoine.....	1344	1064	539,5	68,0	390,5	23,3	42,6
	Paille d'avoine....	1800	1283	642,8	69,3	500,4	5,1	65,4
	Somme.....	53101	17478	8192,7	956,5	7009,0	254,2	1065,5
	Engrais employé.	49086	10161	3637,6	426,8	2621,5	203,2	3271,9
	Différence.....	.....	+ 7317	+ 4555,1	+ 529,7	+ 4387,5	+ 51,0	— 2206,4

ASSOLEMENT N° 3.

ANNÉES.	SUBSTANCES.	RÉCOLTES par hectare.	RÉCOLTES sèches.	CARBONE.	HYDROG.	OXYGÈNE	AZOTE.	SELS et TERRES.
		Kilogr.	Kilogr	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr
1re	Pommes de terre..	128000	3085	1357,4	178,9	1379,0	46,3	123,4
2e	Froment.	1343	1148	529,3	66,6	498,2	26,4	27,5
	Paille de froment.	3052	2258	1093,0	119,7	878,2	9,0	158,1
3e	Trèfle (en foin). .	5100	4029	1909,7	201,5	1523,0	84,6	310,2
4e	Froment.	1659	1418	653,8	82,2	615,4	32,6	34,0
	Paille de froment.	3770	2790	1350,4	147,8	1085,3	11,2	195,3
	Navets dérobés.. .	9550	716	307,2	39,3	302,9	12,2	54,4
5e	Pois (fumés). . . .	1092	998	464,1	61,9	399,2	41,9	30,9
	Paille de pois.. . .	2790	2461	1127,3	123,0	876,1	56,6	278,1
6e	Seigle..	1679	1394	644,0	78,1	626,1	23,7	32,1
	Paille de seigle. .	3731	3033	1513,5	169,8	1231,4	9,1	109,2
	Somme.	46566	23330	10949,7	1268,8	9404,8	353,6	1353,2
	Engrais employé. .	58900	12192	4364,2	512,2	3145,5	243,8	3925,8
	Différence.	.....	+11138	+ 6585,5	+ 756,6	+ 6259,3	+ 109,8	— 2572,6

ASSOLEMENT N° 4.

ANNÉES.	SUBSTANCES.	RÉCOLTES par hectare.	RÉCOLTES sèches.	CARBONE.	HYDROG.	OXYGÈNE	AZOTE.	SELS et TERRES.
		Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr
1re	Jachère fumée. . .	»	»	»	»	»	»	»
2e,3e	Froment.	3318	2836	1037,4	164,5	1230,8	65,2	68,1
	Paille..	7500	5550	2686,2	294,2	2159,0	22,2	388,5
	Somme.	10818	8386	3993,6	458,7	3389,8	87,4	456,6
	Engrais employé..	20000	4140	1482,1	173,9	1068,1	82,8	1333,1
	Différence.	.....	+ 4246	+ 2511,5	+ 284,8	+ 2321,7	+ 4,6	— 876,5

N° 5. CULTURE CONTINUE DU TOPINAMBOUR.

ANNÉES	SUBSTANCES	RÉCOLTES par hectare.	RÉCOLTES sèches.	CARBONE.	HYDROG.	OXYGÈNE	AZOTE.	SELS et TERRES.
		Kilogr	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr	Kilogr	Kilogr.
1re et 2e	Topinambours....	52880	11000	4763,0	638,0	4763,0	176,0	660,0
	Tiges ligneuses..	28200	24542	11224,7	1326,3	11224,7	98,2	687,2
	Somme.....	81080	35562	15987,7	1964,3	15987,7	274,2	1347,2
	Engrais employé..	45450	9408	3368,1	395,1	2427,3	188,2	3029,3
	Différence.....	.....	+26154	+12619,6	+ 1569,2	+13560,4	+ 86,0	— 1682,1

RÉSUMÉ.

ASSOLEMENTS.	ENGRAIS SEC consommé sur un hectare en une année.	AZOTE contenu dans l'engrais.	RÉCOLTE SÈCHE obtenue en un an sur un hectare.	AZOTE contenu dans la récolte.	GAIN en matière organiq. en un an sur un hectare.	GAIN EN AZOTE en un an sur un hectare.
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr	Kilogr.
N° 1.	2032	40,6	3558	50,1	1526	9,5
N° 2	2032	40,6	3495	50,8	1463	10,2
N° 3.	2032	40,6	3888	58,9	1856	18,4
N° 4	1360	25,8	2795	29,1	1435	3,3
N° 5	4704	94,1	17781	137,1	13087	43,0

REMARQUES

SUR

CERTAINS PHÉNOMÈNES

DONT LE PRINCIPE EST DANS L'ORGANE DE LA VUE;

OU

FRAGMENTS DU JOURNAL D'UN OBSERVATEUR

ATTEINT D'UNE MALADIE DES YEUX;

Communiquées à l'Académie, le 18 mars 1839 (1),

PAR M. DE SAVIGNY.

DES NUAGES ET DE LEURS COMPLICATIONS DIVERSES.

PREMIÈRE PARTIE.

De la composition des Nuages et de ses divers degrés. — De l'émission régulière; de l'émission irrégulière. — De l'émission redoublée : description de l'émission centrale en entonnoir.

Fragment 4.— En retranchant du genre des Néphélides les

(1) Les trois premiers fragments de ce journal, précédés d'un court préambule, ont été lus à l'Académie, le 9 juillet 1838, et insérés immédia-

phosphènes et les pyroles (2), on le voit se composer encore des Nuages, des Pyrophis, des Phénicés et des Hydrophènes. Les premiers de ces phénomènes ou les *Nuages*, dont les trois autres sortes ne sont que des modifications plus ou moins évidentes, doivent fixer d'abord notre attention; mais leur examen se complique de tant de détails, que j'ose à peine l'entreprendre, voulant, mais ne sachant comment le borner aux faits encore si nombreux qui les distinguent essentiellement, et qui, par cela même, en sont inséparables.

En effet, les Nuages sont les phénomènes intermittents les plus composés et les plus sujets à varier dans leur émission; ils sont, surtout après les *Images* (3), les plus diversifiés, les plus compliqués même dans leur forme, les plus inconstants dans leur couleur. Ils sont encore, en l'absence de toute lumière extérieure, les plus grands, les plus fréquents, les plus nombreux et les plus persistants de tous.

L'émission du Nuage prise à un certain degré de composition, n'a pas moins de cinq *unités* distinctes, savoir, trois *apparences* et deux *contre-apparences* disposées, quand elles

---

tement dans le *Compte rendu* de ses séances. En publiant ici les suivants, je crains d'être accusé de m'en exagérer l'importance. Des faits jetés, pour tout autre que moi, à de bien rares exceptions près, hors du domaine de l'observation directe, ne peuvent la plupart inspirer d'abord que fort peu d'intérêt: je le sais, mais j'ai la confiance que, lorsque d'autres faits viendront s'y réunir, cette première indifférence se dissipera.

Les imperfections plus ou moins graves du texte tiennent à des circonstances qui ne me permettent pas de mieux faire.

(2) Voyez le *Compte rendu* précité, tome VII, pag. 69-75.

(3) Les Images sont un genre de phénomènes intermittents, qui comprend, sous plusieurs chefs, un nombre infini de variétés.

se succèdent régulièrement, et caractérisées comme il suit. L'apparence *primaire* est blanche, active, expansive, polymorphe, et semble, par son ton, sa couleur, son extrême mobilité, et la diversité infinie de ses mouvements, imiter parfaitement un nuage naturel. L'apparence *secondaire* également blanche, est inactive, étendue, plane, lisse, et satinée ou lustrée. L'apparence *tertiaire* diffère beaucoup des précédentes par sa couleur d'un jaune d'or; elle est d'ailleurs étendue, unie, vibratile, et souvent brillante à l'excès. L'unité qui succède à cette troisième apparence ou la contre-apparence *primaire* est noire, étendue, peu mobile elle-même, mais pourvue d'un réseau pyrophique (4) blanc ou jaune, éminemment vibratile, et susceptible de jeter le plus vif éclat. La contre-apparence *secondaire* dépourvue de ce réseau, est d'un noir profond, mobile, expansive, et, la couleur exceptée, assez semblable dans tous ses points à l'apparence primaire. Telles sont, à *certaines variations* près, les cinq unités distinctes que les Nuages peuvent successivement offrir dans une seule et même émission. J'ai décrit ces unités sous les noms d'apparence et de contre-apparence, c'est-à-dire, sous les dénominations que j'ai l'habitude d'employer dans le même sens pour les autres genres de phénomènes; mais j'y substituerai désormais les noms plus significatifs de *nuage* (*primaire, secondaire,* etc.) et de *contre-nuage,* toutes les fois que je le pourrai sans qu'il en résulte d'équivoque.

On présume bien que l'émission du Nuage ne possède

(4) Les détails particuliers à ce réseau sont exposés fragments 7 et 8.

pas seulement le haut degré de composition que nous venons d'exposer; elle offre encore à diverses époques tous les degrés au-dessous. Elle peut donc être *simple*, *binaire*, *ternaire* ou *quaternaire* aussi bien que *quinaire*.

L'émission simple n'a de visible que le nuage primaire. Les émissions binaire, ternaire, et quaternaire se composent du nuage primaire et d'une, deux, ou trois autres unités prises indistinctement. Je dois pourtant observer que le nuage tertiaire est assez rarement au nombre de ces unités, tandis que le contre-nuage secondaire s'y trouve presque toujours.

Un fait qui résulte de ce qui précède et qu'il importe de se rappeler, c'est que le nuage primaire ne manque à aucune émission composée, et que dans l'émission rendue simple par l'absence simultanée de quatre unités, il est encore la seule qui se retrouve pour les suppléer toutes (5).

L'émission ternaire et l'émission quaternaire offrent les deux degrés de composition qui se manifestent le plus habituellement. L'émission quinaire, dont l'existence suppose la fréquence simultanée de toutes les unités, ne peut jamais être bien commune.

Fragment 5. — Si l'émission du Nuage varie beaucoup par le nombre des unités, elle ne varie pas moins par leur disposition relative. Considérée sous ce point de vue, elle est *régulière* ou elle est *irrégulière*.

L'émission régulière se compose d'unités égales entre elles,

---

(5) Il faut en excepter les cas de *transfigurations*, qui s'éloignent toujours de l'ordre habituel, et dont il ne peut être question ici. Voyez le *Compte rendu* précité, remarques sur les Phosphènes, fragment 3.

émises des mêmes points, comprises dans les mêmes limites, et manifestées successivement dans leur ordre naturel. Cette émission a elle-même deux manières de varier. Tantôt chaque unité paraît instantanément tout entière, et sans se déplacer disparaît de même, convertie subitement en l'unité suivante. Tantôt chaque unité part d'un point commun et se prolonge dans l'espace pour aboutir à un autre point commun, mais de telle sorte que souvent la dernière de ces unités paraît avant que la première ait cessé de paraître; ou bien encore, chaque unité partie d'un point commun, après avoir, en se prolongeant, atteint un autre point commun, revient en entier sur elle-même pour laisser paraître l'unité suivante. J'observe à ce sujet que la substitution d'une unité à une autre n'est pas toujours l'effet d'une conversion immédiate, que quelquefois même il s'écoule entre la disparition de l'une et l'apparition de l'autre un temps très-appréciable. L'émission régulière est rarement très-compliquée, et souvent binaire.

L'émission irrégulière, infiniment plus commune que la précédente, se compose d'unités inégales et dont les proportions relatives sont très-variables. La première et principale unité, ou le nuage primaire, produit en parcourant l'espace, et sur des points différents, les autres unités qui se succèdent, non dans leur ordre naturel, mais dans un ordre inverse. Ce n'est toutefois qu'une dérogation apparente à la règle générale. Nous l'examinerons plus bas. Nous devons d'abord mettre sous les yeux en forme de tableau, quelques-unes de ces émissions irrégulières que nous prendrons à divers degrés de composition, et qui suffiront pour en donner une idée.

1° *Émission binaire.* — Le nuage primaire en s'étendant

d'un point à un autre, se change, dans la dernière moitié de son cours, en contre-nuage secondaire.

2° *Émission ternaire.* — Le nuage primaire, en s'étendant, etc., se convertit en contre-nuage secondaire dans la première moitié de son cours, et dans la dernière en un nuage secondaire ou satiné, souvent changé lui-même en contre-nuage secondaire, complément du précédent.

3° *Émission ternaire.* — Le nuage primaire, en s'étendant, etc., se convertit en contre-nuage primaire dans les cinq premiers sixièmes de son cours, et dans le dernier en un nuage secondaire qui devient, pour l'unité qui le précède, une sorte de marge terminale.

4° *Émission ternaire.* — Le nuage primaire, en s'étendant, etc., se convertit en contre-nuage secondaire dans les deux premiers tiers de son cours, et dans le dernier en un nuage tertiaire ou doré, rarement changé lui-même en contre-nuage secondaire.

5° *Émission ternaire.* — Le nuage primaire, en s'étendant, etc., se change en contre-nuage secondaire dans la première moitié de son cours, et dans la dernière en un contre-nuage primaire ou pyrophisé, souvent changé lui-même en contre-nuage secondaire.

6° *Émission ternaire.* — Le nuage primaire se porte d'un point à un autre, et revenant sur lui-même se convertit en

contre-nuage secondaire dans les deux premiers tiers de ce retour, et dans le dernier en contre-nuage primaire.

7° *Émission quaternaire.* — Le nuage primaire, en s'étendant d'un point à un autre, se convertit en contre-nuage secondaire dans le premier tiers de son cours, dans le suivant en contre-nuage primaire, et dans le dernier en nuage tertiaire.

8° *Émission quaternaire.* — Le nuage primaire, en s'étendant, etc., se convertit en contre-nuage secondaire dans la première moitié de son cours, dans le quart suivant en contre-nuage primaire, et dans le dernier en nuage secondaire; le tout changé finalement en contre-nuage secondaire.

9° *Émission quinaire.* — Cette 9^{me} émission ne diffère sensiblement de la 7^{me} que parce qu'elle a de plus le nuage secondaire, et que ce nuage la termine.

Maintenant, si l'on jette un coup d'œil sur les diverses émissions que nous avons choisies pour exemples, et qui la plupart sont loin d'être rares, on verra partout les unités appelées à remplacer directement le nuage primaire, se succéder dans un ordre inverse de l'ordre naturel; mais partout aussi l'on pourra remarquer, qu'en faisant partie sous un rapport d'une seule et même émission, elles constituent sous un autre autant d'émissions vraiment distinctes, qui n'ont de liaison entre elles que par l'existence d'une première unité commune à toutes. Ainsi appréciées, leur disposition restera toujours remarquable, mais elle ne paraîtra plus violer

l'ordre de succession auquel les éléments de toute émission composée sont nécessairement soumis. On doit voir, d'ailleurs, que les émissions successives que j'admets, sont binaires ou ternaires (1), et que, dans ce dernier cas, les unités dont elles se composent, occupant le même espace et naissant l'une de l'autre, ne peuvent plus dévier de l'ordre obligé, et rentrent en effet sous la loi commune.

L'unité qui, dans l'émission irrégulière, succède, dès le début, au nuage primaire, est toujours le contre-nuage secondaire. La 3^{me} émission du tableau ci-dessus semble faire exception; mais dans cette émission, qui est très-fréquente, le contre-nuage primaire a généralement ses deux premiers tiers peu ou point pyrophisés. Le même contre-nuage, dans la 8^{e} émission, est quelquefois réduit à une bordure très-étroite.

La proportion relative des diverses unités est, comme on le pense bien, peu facile à saisir. J'ai donné, pour chacune des émissions du tableau précité, celle qui m'a paru la plus ordinaire; mais je ne dois pas laisser ignorer que les faits de ce genre sont essentiellement variables, et que, dans certains cas de perturbation, ces variations semblent aller aussi loin que l'imagination peut le supposer.

Fragment 6. — L'émission du Nuage n'est pas seulement composée à des degrés plus ou moins élevés. Elle est encore immédiatement réitérée deux, trois, quatre et jusqu'à vingt fois sans interruption; de sorte que sa totalité se forme, en

(1) Il y en a même de quaternaires, mais elles m'ont paru trop rares pour mériter une mention expresse.

définitive, d'une suite d'émissions *particulières*, qui n'ont pas moins de liaison entre elles que n'en ont leurs propres unités. Telle est, en effet, l'émission que j'appelle *redoublée*. C'est, en quelque sorte, une émission sur-composée, exclusivement propre aux Néphélides spontanées et à l'*Iris* (1). Les *Héliades* irrégulières (2) sont les seuls phénomènes qui m'aient offert, mais rarement, et à une époque seulement, des suites d'émissions assez analogues.

L'émission redoublée peut présenter, à son début, certaines anomalies, qui consistent principalement dans la suppression du nuage primaire (3). Ainsi, lorsqu'elle se compose d'émissions binaires, elle débute quelquefois par le contre-nuage secondaire. Quand elle se forme d'une suite d'émissions ternaires, elle commence souvent par le contre-nuage primaire qui, s'il n'est suivi d'un contre-nuage secondaire, constitue seul l'émission initiale; ce contre-nuage de *début* brille soudainement sur le point où aboutira le nuage primaire de l'émission particulière suivante, si celle-ci répond à la 5^{me} du tableau tracé ci-dessus (fragment 5), ou sur le point d'où partira ce même nuage primaire, si elle répond à la 6^{me}. Un

(1) L'Iris est un phénomène unique, circulaire ou demi-circulaire, dont les couleurs sont généralement disposées comme celles de l'arc-en-ciel.

(2) Les Héliades, ou images phosphoriques, sont des images lumineuses à contre-apparence noire, ou noires à contre-apparence lumineuse. Elles pourraient, à la rigueur, constituer un genre particulier.

(3) Ceci est une légère exception au fait général énoncé plus haut, vers la fin du fragment 4. Il est un autre fait qui n'en souffre aucune; c'est que le nuage primaire qui n'a pas existé, du moins visiblement à la première émission particulière, existe à toutes les suivantes, et par conséquent ne manque jamais à l'émission redoublée.

début d'une telle irrégularité méritait, par sa fréquence, d'être signalé (4).

Assez souvent l'émission redoublée se maintient la même jusqu'à la fin de son cours, soit qu'elle se termine brusquement, soit qu'elle finisse en cessant peu à peu d'être visible. Souvent aussi elle subit des modifications, c'est-à-dire, qu'elle s'étend, ou se resserre, ou se déplace, ou change de direction, ou prend un autre degré de composition, etc. Quelquefois deux émissions irrégulières s'éteignent ensemble, à l'exception du nuage primaire de l'une, et du contre-nuage primaire de l'autre, qui persistent en se détournant pour se mettre en communication, et constituer une émission nouvelle. Il y a surtout en ce genre quantité de variations, que souvent l'œil a peine à suivre, et qu'il serait encore moins facile d'exprimer.

La configuration des émissions redoublées n'est pas leur attribut le moins inconstant. Beaucoup n'en ont point d'appréciable. Parmi les mieux circonscrites, plusieurs sont longitudinales, relativement au sens de leur impulsion : d'autres sont transverses, et quelquefois font voir une succession de longues bandes blanches, noires, réticulées, dorées, etc. Les unités du plus grand nombre tendent à se terminer par une ligne courbe : quelques-unes même se rapprochent de la forme orbiculaire, etc.

Mais il existe une émission que sa configuration particulière rend frappante, et dont je n'ai pu jusqu'à présent

---

(4) C'est dans ce début seul que le contre-nuage primaire est fréquemment remplacé par la variété dont il est fait mention ci-après, fragment 11, sous le nom de contre-nuage *de début à arceaux*.

dire encore un seul mot : je veux parler de l'émission centrale en entonnoir. Cette émission, qui est exactement arrondie à sa circonférence, et dont le mouvement s'opère de la circonférence au centre, offre en effet le spectacle magique de deux entonnoirs également profonds, l'un blanc, l'autre noir, chacun d'eux, tour à tour, contenant et contenu. Ce double effet s'accomplit, sans que la vue puisse saisir autre chose, sinon que l'entonnoir contenu, soit le blanc, soit le noir, diminuant rapidement de diamètre, s'échappe par l'issue de l'autre et n'a pas encore disparu que déjà il le contient à son tour. L'entonnoir subsistant est évasé à son orifice, qu'il présente de face, et prolongé dans son fond en un tube étroit. Ses conversions alternatives s'opèrent avec autant de précision que de célérité, et produisent une illusion complète.

On a déjà pu conclure de la couleur des deux entonnoirs, que l'émission dont il s'agit, la seule qui soit essentiellement centrale, ne réunit que deux unités. Ce qui est certain, c'est que le nuage tertiaire, et le contre-nuage primaire, lui sont constamment étrangers (5). Cette double absence lui est même exclusivement propre ; mais l'entonnoir blanc, en devenant intérieur, acquiert un lustre qui le rapproche beaucoup du nuage secondaire, et qui doit faire penser que l'émission dont il fait partie, se compose réellement de trois unités.

Je dirai tout de suite sur cette émission, pour n'y plus revenir, qu'elle a perdu depuis longtemps sa configuration en profond entonnoir, et avec elle presque tout son prestige.

(5) Ni l'un ni l'autre ne sont étrangers aux émissions ordinaires qui se manifestent sur le milieu de la région centrale.

Déjà, en 1830, elle n'offrait plus qu'une surface peu concave. Depuis, elle est devenue plane, présentant dans les conversions successives de chaque émission particulière : 1°, un large disque blanc, aussitôt bordé d'un cercle noir ; 2°, le même disque réduit, compris dans un cercle noir, entouré d'un cercle blanc ; 3°, un disque noir, compris dans un cercle blanc plus apparent; après quoi revient le large disque blanc, entouré d'un cercle noir, et ainsi de suite.

Dans les conversions que je viens de décrire, le nuage et le contre-nuage sont également en mouvement ; mais il n'en est pas toujours ainsi. Quelquefois le disque blanc, convexe, demi-transparent, est immobile; un cercle noir, plus ou moins irrégulier, l'entoure, s'y introduit en se rétrécissant et décrivant parfois un faible tour de spire, s'y convertit en disque, et disparaît en semblant le pénétrer, à l'instant même où il reparaît en cercle à l'extérieur, etc.

Je terminerai ces remarques sur l'émission redoublée, en observant que la durée habituelle de chaque émission particulière, quel que soit son degré, son mode même de composition, est de sept pulsations; nombre qui n'a jamais varié d'une à deux pulsations, soit en plus, soit en moins, qu'accidentellement et passagèrement. Je dois pourtant avouer que depuis un an environ il paraît souvent tomber à six. Quoi qu'il en soit, en se fixant au nombre sept et le multipliant par vingt, autre nombre mentionné ci-dessus, on a cent quarante pulsations ou à peu près deux minutes, pour le maximum de la durée qu'une émission réitérée sans perturbation peut généralement atteindre.

SECONDE PARTIE.

De l'origine des réseaux pyrophiques. — De leur structure et de ses variétés; de leurs couleurs. — Des changements survenus dans l'état habituel des Nuages, depuis leur apparition jusqu'à ce jour.

Fragment 7. — Lorsque j'ai voulu décrire méthodiquement les Nuages, je les ai pris, non à l'époque de leur plus grande intensité, elle n'en eût donné qu'une idée imparfaite, mais deux ans après. C'est alors seulement que j'ai pu distinguer, comparer entre elles et définir exactement les cinq unités dont j'ai ci-devant tracé les principaux caractères. Dans l'esquisse que j'en ai donnée, une de ces unités, la contre-apparence primaire, s'est montrée compliquée d'un *réseau pyrophique*, c'est-à-dire d'un réseau de nervures saillantes et lumineuses; et cet appareil, par les nombreuses singularités de sa structure, exige maintenant de nous une nouvelle attention. Nous l'examinerons dans ses détails essentiels; mais, pour en donner une juste idée, je dois remonter d'abord à son origine, et pour cela reprendre dès ce moment les choses de plus haut.

La névrose, source de tous ces phénomènes, après s'être longtemps annoncée par des signes plus ou moins équivoques, se déclara définitivement le 20 mars 1824. Les Nuages ne parurent pas les premiers jours et restèrent faibles tout le mois d'avril. Leurs progrès en mai furent beaucoup plus sensibles; et cependant il n'existait encore, avant le 28 de ce mois, que des nuages blancs auxquels s'étaient mêlés quelques nuages d'un cendré clair, comme il a depuis continué de s'en

former. Ce fut dans la nuit du 28 au 29, la 70^{me} de cette affection, que commencèrent à se manifester les contre-nuages secondaires, offrant dès le premier instant ce noir profond qu'ils ont toujours possédé depuis et qu'ils conservent encore. Leur apparition fut comme le signal d'une accélération extraordinaire dans la marche progressive de la maladie. Néanmoins la journée du 29 se maintint assez calme. Je pus même ouvrir la fenêtre et laisser sans trop d'irritation mes yeux exposés quelques instants à l'action de la lumière extérieure, adoucie, il est vrai, par un temps très-couvert. Mais à sept heures du soir apparurent brusquement les premiers *Amphidisques* ou *disques bleus* (1); apparition funeste, qui détermina dans l'organe de la vue un changement si rapide, que dès le lendemain l'interdiction de toute vraie lumière devint indispensable et que je me trouvai ainsi livré sans contre-poids, sans interruption aucune, à cette longue série d'illusions et de tortures dont il est encore difficile d'entrevoir le terme. Peu de jours après, les serpenteaux (2), jusqu'alors presque inaperçus, se déclarèrent vivement. Ces phénomènes lumineux étaient de deux sortes. Les uns se composaient principalement d'un nombre prodigieux de petits traits vermiculaires, vibratiles,

(1) C'est sous le dernier de ces noms que je désignai à cette époque, et que je note encore assez habituellement ce genre de phénomène, dont le bleu indigo est en effet la principale couleur. Les *Amphidisques*, et après eux les *Ocydisques*, dont la couleur la plus ordinaire est un blanc pur, sont, de tous les phénomènes intermittents, ceux qui paraissent avoir le plus haut degré d'importance.

(2) J'emploie ce nom vulgaire, sans être bien sûr d'en faire une juste application.

ardents, réunis la plupart dans la région centrale : ils ont disparu dans le cours de la diminution, sans avoir eu de relation particulière avec les Nuages (3). Les autres, et ces derniers sont les seuls que nous ayons à considérer, beaucoup moins multipliés que les précédents, consistaient en traits épars, souvent isolés, sinueux, ou tortueux, ou brisés en zigzags anguleux, et tels qu'on représente les carreaux de la foudre, etc. Quoique plus grands, plus prononcés, et même un peu plus fréquents de mois en mois, ils se montraient rarement et seulement à certains jours de chaque période (4), notamment aux jours déjà marqués par la présence des amphidisques, ou très-peu après. Ils apparaissaient alors aux instants les plus violents de l'exacerbation, brillant çà et là, ou s'émettant confondus avec les Nuages qui s'élevaient rapidement les uns au - dessus des autres, et jetant du milieu des plus colorés ou des plus sombres les feux de l'éclair. Ils parvinrent ainsi jusqu'au 20 septembre, date du maximum de la maladie, et l'atteignirent toutefois sans que la vraie nature de leurs rapports avec les Nuages se fût encore révélée.

Et cependant à cette première époque de leur existence les serpenteaux que je viens de dépeindre naissaient des

---

(3) Ces premiers serpenteaux constituent les *Pyrophis libres* ou indépendants des Nuages. Nous ne les réunissons sous cette dénomination aux Néphélides, que pour indiquer leur analogie avec les serpenteaux suivants, qui en sont d'ailleurs très-distincts.

(4) Les périodes dont il s'agit ont une durée variable, mais dont le terme moyen est de treize à quatorze jours, c'est-à-dire, d'un *demi-mois* environ. Elles ont toutes été notées.

Nuages comme ils en naissent aujourd'hui. Je dis plus : ils en provenaient exclusivement. Mais comment apercevoir une origine que leur excessive vivacité, leur lumière éblouissante, leur rareté même, du moins leur rareté relative, dérobaient à la vue, et qu'aucune notion antérieure parmi celles que je possédais, ne faisait soupçonner? Il fallait que le principe de ce premier degré d'activité fût épuisé, pour qu'une telle origine se laissât reconnaître. En effet, quand le mouvement en progrès, arrêté dans son cours, eut fait place au mouvement en diminution, elle se manifesta peu à peu, et devint dans la suite d'autant plus évidente, que les serpenteaux, en participant au déclin général, loin de perdre de leur nombre, s'étaient multipliés de plus en plus; et de périodiques qu'ils avaient paru d'abord, étaient devenus par degrés quotidiens; si bien qu'en septembre 1826 les Nuages n'effectuaient pas une apparition de quelque importance, que les contre-nuages primaires à serpenteaux blancs ou jaunes n'en fissent constamment partie. L'unité naturelle de ces phénomènes, leur indivisibilité, étaient alors certaines. La multiplication des serpenteaux et leur extension toujours croissante couvrirent bientôt la plupart des mêmes contre-nuages de ces réseaux si diversifiés et souvent si pompeux qui nous imposent aujourd'hui la tâche peu facile de les décrire. Depuis longtemps le nom de serpenteaux était devenu très-impropre; j'y substituai celui de *Pyrophis*, qui, n'ayant pas encore d'acception convenue, pouvait s'appliquer à tous les cas, et qui d'ailleurs offrait un autre avantage, celui de se prêter facilement aux exigences de la rédaction.

Fragment 8. — Les pyrophis parvenus au terme de leur

développement figurent, sur les contre-nuages dont ils sont la partie éminemment active, 1° des réseaux réguliers; 2° des réseaux irréguliers; 3° des traits isolés et inordonnés.

Les réseaux que j'appelle réguliers se composent de mailles nombreuses, égales, semblables entre elles, larges et demi-circulaires, ou hautes et presque ovalaires, souvent de quinze à vingt lignes de diamètre, rarement beaucoup au-dessus de cette grandeur (1); ces mailles sont formées par des nervures saillantes, demi-cylindriques, ou planes, ou concaves sur leur milieu et convexes sur leurs bords, très-lisses, d'une largeur tantôt moyenne, tantôt réduite à celle d'un fil, ou tellement exagérée qu'elle laisse à peine subsister de légères traces du fond. Quelle que soit la configuration des mailles, elles sont disposées en quinconces ou à peu près, leur côté arrondi tourné vers la base du contre-nuage, ou, ce qui est la même chose, vers le point de départ de l'émission (2).

Plusieurs réseaux également réguliers, plus rares que les précédents, ont pour mailles des nervures aplaties moins lisses que pointillées, taillées en boutonnière, en cuilleron, en lunule, ou en fer à cheval; placées immédiatement les unes à

---

(1) Il ne s'agit ici que du plus ou moins de grandeur que le même phénomène peut offrir, sans changer de distance relativement aux yeux. Les grandeurs que j'indique sont prises, autant que possible, à la distance la plus ordinaire. Personne n'ignore que, toutes choses égales d'ailleurs, l'étendue des phénomènes augmente en raison de leur éloignement apparent.

(2) Ces réseaux réguliers se manifestent surtout dans les émissions 5, 6 et 7 du tableau exposé ci-devant, fragment 5.

côté des autres par rangs transverses, rapprochés et serrés souvent de manière à ne laisser voir que très-peu de la couleur du fond. Ces sortes de mailles ont, comme les précédentes, leur côté arrondi tourné vers le point de départ de l'émission (3). Il en est de même de toutes les boucles, ondes et bordures pyrophiquées d'une configuration analogue.

Les réseaux irréguliers ne diffèrent des réseaux réguliers les plus ordinaires que par leurs mailles inégales, plus ou moins différentes entre elles, mais en général sensiblement quadrangulaires : ces réseaux sont les plus développés de tous; leurs mailles sont quelquefois très-grandes et, sans perdre de leur ouverture, formées par des nervures d'un pouce et plus de largeur (4).

Les traits isolés et inordonnés, substitués aux réseaux sur beaucoup de contre-nuages, ne s'y montrent pas toujours en grand nombre; ils sont plus ou moins longs, épais ou déliés, diversement renflés, brisés ou contournés, multipliés par degrés et convertis enfin en un, deux ou trois rangs de nervures transverses et terminales, taillées en croissants (5). On voit aussi de ces traits isolés, et jetés, multipliés sans ordre, suivis brusquement d'une ou deux larges nervures

(3) Ces seconds réseaux réguliers se montrent spécialement dans l'émission 8 du même tableau.

(4) Ces réseaux irréguliers paraissent dans les mêmes émissions que les premiers réseaux réguliers décrits ci-dessus : les uns et les autres ont longtemps lutté de fréquence ; mais les réseaux irréguliers sont restés définitivement les plus communs de tous. Ils reprennent, quand ils sont réduits à quelques mailles incomplètes, l'apparence de traits en zigzags.

(5) Cette disposition pyrophique est presque exclusivement propre à l'émission 3 du tableau déjà cité.

transverses et terminales, contournées de distance en distance en boucles orbiculaires. Au reste, la pyrophisation des contre-nuages offre une infinité de particularités ou de nuances susceptibles sans doute d'être indiquées une à une, mais que je ne rappellerai pas ici, parce qu'il est impossible de les généraliser.

Dans certaines émissions irrégulières, le contre-nuage primaire est distingué du contre-nuage secondaire ou non pyrophisé par un liséré qui en suit à la base les divers contours; dans beaucoup d'autres (6), le même contre-nuage est séparé du nuage secondaire qui lui succède, et qui souvent simule une simple marge, par un liséré plus remarquable encore, d'une extrême régularité. La largeur de ces lisérés est égale ou supérieure à celle des autres nervures (7).

Les réseaux pyrophiques, ainsi que tous les attributs de même nature, sont tantôt blancs, tantôt jaunes; couleurs qui semblent marquer deux degrés d'intensité comparables à ceux que nous avons ci-devant désignés sous les noms d'apparence secondaire et d'apparence tertiaire. Les réseaux blancs sont

---

(6) Notamment dans les émissions correspondant aux numéros 3 et 8 du tableau précité.

(7) On retrouve le même liséré pyrophique à la base du nuage secondaire, dans un grand nombre d'émissions qui correspondent la plupart à la deuxième du tableau déjà cité. La base de ce nuage, et de ses principales modifications, indiquées ci-après, fragment 9, est souvent régulière et très-entière, mais elle n'est pas moins souvent irrégulière et lobée ou festonnée, ou laciniée, filamenteuse, etc. Quels que soient le nombre et la profondeur de ces divisions, le liséré dont il s'agit les borde toutes très-exactement.

en général d'un blanc pur, unissant à une vive lumière (8) le luisant de l'émail, ou le lustre, le brillant de l'argent. Les réseaux jaunes sont quelquefois d'un jaune de soufre ou d'une nuance plus pâle encore; mais communément ils sont d'un jaune intense, alliant presque toujours l'aspect métallique à la lumière la plus étincelante. A ce degré, les réseaux pyrophiques ont tout l'éclat de l'or bruni, éclat que redoublent et diversifient sans cesse des milliers de vibrations vivement réitérées. Rien ne frappe la vue comme le contraste de ces superbes réseaux, blancs ou jaunes, avec la nuance ordinaire des contre-nuages sur lesquels ils brillent; nuance sombre, ténébreuse, et le plus souvent d'un noir profond.

Il est certains cas où les réseaux pyrophiques de toutes sortes prennent simultanément une consistance semi-fluide, et se couvrent à leur surface d'une infinité de flammules ou petites flammes vives et ondoyantes. Cet aspect, beaucoup plus rare que les précédents, méritait néanmoins d'être cité.

Fragment 9. — Maintenant que nous connaissons dans tous ses points la constitution habituelle des Nuages à l'époque de leur développement le plus régulier et en quelque sorte le plus complet, nous pouvons consacrer quelques instants à parcourir, sans l'interrompre, la série des changements qu'ils ont successivement éprouvés depuis leur première apparition jusqu'à ce jour.

---

(8) La lumière des phénomènes les plus éminemment lumineux est inconstante; et quand j'attribue à certains phénomènes, aux pyrophis, par exemple, une vive lumière, c'est toujours abstraction faite des circonstances dans lesquelles toute vive lumière est momentanément affaiblie ou éteinte.

On a vu comment les Nuages, bornés d'abord à l'émission simple, ont pris tout à coup, par l'apparition subite des contre-nuages noirs, une émission composée. Cette première composition se réduisit ou du moins parut se réduire à l'union du nuage primaire et du contre-nuage secondaire. L'un et l'autre s'accrurent rapidement, et quatre mois ne s'étaient pas encore écoulés, que déjà ils avaient acquis en volume, en densité, en coloration, en ardeur, en vélocité, le haut degré dont ils ne pouvaient plus que descendre. Jusqu'à cette époque, en quelque nombre et sur quelque point que les Nuages se fissent voir, on ne remarquait autre chose que des nuages blancs ou de couleur claire, alternant avec des contre-nuages noirs, les uns et les autres d'ailleurs très-semblables. Seulement les derniers étaient remplacés à certains jours et dans certains instants par les contre-nuages autrement colorés dont j'aurai bientôt à parler. Mais après les premiers pas rétrogrades de la maladie, les nuages secondaires se manifestèrent insensiblement : les contre-nuages primaires, de leur côté, ne tardèrent pas à se prononcer; et les émissions, qui ne paraissaient auparavant que binaires, se montrèrent souvent ternaires ou quaternaires. Cependant ces unités nouvelles, essentiellement intermédiaires, se maintenant au milieu de beaucoup d'oscillations, achevèrent lentement de se caractériser. Les nuages secondaires acquirent leur blanc satiné, leur reflets argentins; et les contre-nuages primaires, leurs réseaux pyrophiques complets, blancs parfois, mais dans toute leur intensité d'un jaune d'or éclatant (1). Le même

(1) Ces réseaux passent quelquefois du jaune au blanc, à l'instant où ils s'éteignent pour disparaître.

principe continuant d'agir, produisit enfin, non-seulement les brillants réseaux que j'ai décrits, mais des nuages totalement jaunes comme eux, dorés comme eux, lumineux comme eux; en un mot, les nuages tertiaires qui en sont le dernier terme. On put alors compter dans la même émission jusqu'à trois unités *intermédiaires* parfaitement distinctes. Mais ces unités montrèrent peu de constance dans leurs attributs réciproques, et laissèrent bientôt s'établir une sorte de confusion entre elles. Le nuage secondaire, tout en perdant de son lustre propre, se mit souvent à rivaliser de lumineux avec le nuage tertiaire, et quelquefois à briller d'un éclat non moins vif que s'il eût réfléchi les rayons du soleil. Ce même nuage et le contre-nuage primaire furent remplacés dans une infinité d'émissions binaires ou ternaires, par des nuages pyrophisés qui, tenant plus ou moins de l'un ou de l'autre, n'étaient précisément aucun des deux (2). On vit ainsi paraître des nuages diaphanes (3) à réseau doré; d'autres blancs à réseau argentin, ou blancs à réseau jaune, doré, ou non doré; d'autres cendrés, bruns ou noirâtres, glacés ou non glacés de blanc, à réseau soit argentin, soit jaune et doré, ou de

---

(2) Ce sont de telles variations, ou de plus fortes encore, qui rendent une nomenclature à la fois simple et rigoureuse à peu près impossible. J'ai cru devoir, dans une situation qui me permet peu d'approfondir, préférer à tout la simplicité. Voilà pourquoi je continue souvent d'employer le même nom, celui de *contre-nuage*, par exemple, alors même que ce nom semblerait ne plus convenir.

(3) Les Nuages vraiment diaphanes sont très-rares. Ces phénomènes sont naturellement opaques; ce n'est qu'en se raréfiant qu'ils laissent entrevoir derrière eux d'autres phénomènes.

quelque nuance moins brillante, telle que jaune de souci, de soufre, de citron, de succin, etc. A la suite de ces modifications multipliées, et d'altérations plus profondes lentement progressives, le brillant métallique s'affaiblit et disparut. Ce fut à ce dernier degré que le nuage tertiaire lui-même, perdant sa simplicité, se couvrit aussi sur son fond jaune d'un réseau de nervures saillantes, lumineuses, distinguées du fond par leur nuance et leur relief. Il est survenu à toutes les époques bien d'autres variations que j'ai notées de mon mieux, à mesure qu'elles ont paru, mais dont la plupart ne pourront trouver place dans ces simples éclaircissements.

TROISIÈME PARTIE.

Des attributs périodiques des Nuages. — De leurs variétés temporaires. — Dernier coup d'œil jeté sur l'ensemble de ces phénomènes.

Fragment 10. — Il est temps de quitter les attributs ordinaires des Nuages et de passer à des faits d'un autre ordre. Je veux parler des couleurs que ces phénomènes affectent périodiquement; couleurs qui se sont manifestées presque dès le principe, ont augmenté d'intensité jusqu'au maximum de la maladie, sont devenues avec le temps plus prolongées dans leur apparition, plus variées, et ont toutes insensiblement diminué, mais à des degrés divers. La présence de ces colorations passagères coïncide plus ou moins exactement avec celle des importants phénomènes ci-devant cités sous les

noms d'amphidisques ou de disques bleus (1). Elles sont communes à toutes les émissions qui se manifestent dans certains moments, ou sont particulières à quelques-unes, se reproduisent plusieurs fois le même jour, surtout dans le cours de l'exacerbation, et durent chaque fois quelques heures ou seulement quelques minutes; elles se prolongent ainsi trois, quatre, cinq, six jours, selon que les deux yeux y participent ensemble ou n'en sont atteints que successivement, et disparaissent ensuite, ou n'ont plus, tout le reste de la période, que des retours imparfaits.

Le nuage primaire abandonne son blanc pur habituel pour prendre une teinte assez décidée; tantôt bleuâtre ou cendré bleuâtre; tantôt lilas, purpurine ou rosée. La teinte bleuâtre peut se noircir et devenir très-obscure; mais c'est un cas infiniment rare. Ces diverses teintes sont depuis longtemps éclaircies et très-peu sensibles.

Le nuage secondaire se colore des mêmes teintes que le précédent, mais il les prend un peu plus faibles; néanmoins ce nuage, dans les émissions où il se présente sous la forme de marge terminale (2), a longtemps été d'un bleuâtre très-prononcé, largement cerné de blanchâtre, et plus tard est devenu totalement bleuâtre. Il devient aussi bleu ou bleuâtre quand il fait partie de l'émission centrale et orbiculaire, dont chaque émission particulière, prise au même instant de son

---

(1) Voyez le peu de mots que j'ai dits sur les amphidisques et sur les périodes semi-mensuelles, fragment 7, notes 1 et 4.

(2) C'est-à-dire, dans les émissions analogues à la troisième du tableau exposé fragment 5. La marge dont il est question n'est jamais pyrophisée. Il en est de même de l'entonnoir central, mentionné après.

cours, offre alors un entonnoir central bleu, bordé d'un large cercle noir ou roux, et plus extérieurement d'un cercle blanc; l'entonnoir bleu changé maintenant en un disque bleuâtre pâle.

Le nuage tertiaire n'admet pour son jaune doré d'autre changement périodique qu'un plus vif éclat s'unissant à des émissions plus fréquentes et plus développées.

Le contre-nuage primaire perd son fond noir, converti subitement en un fond safrané, dont la nuance vive et tranchante passe quelquefois au jaune, et quelquefois s'élève au rouge de vermillon. Ce fond safrané peut aussi prendre une légère teinte verdâtre, et même se changer momentanément en olivâtre pur. Les pyrophis conservent leur couleur habituelle, tout en augmentant de nombre et d'éclat: néanmoins ceux qui brillent sur un fond olivâtre se distinguent ordinairement des autres par un ton rouge ou d'un orangé très-vif. La couleur des contre-nuages safranés en rend l'apparition toujours frappante; et quand celle-ci, après plusieurs jours d'existence, est enfin terminée, les mêmes contre-nuages ont encore, sous un aspect un peu différent, de fréquents retours, qui se manifestent dans certaines émissions plus ou moins isolées, par des contre-nuages primaires, rouges, testacés, orangés, fauves, chamois, etc. Ces retours ont presque cessé; mais l'apparition principale se soutient mieux, et, quoique bien dégénérée, est encore remarquable.

Le contre-nuage secondaire reste étranger aux colorations périodiques du précédent, ou bien il y participe à divers degrés; tantôt complétement safrané, tantôt noir et safrané mi-parti, tantôt enfin réunissant l'une et l'autre couleur con-

fondues en une seule d'un roux obscur. Le même a toujours pris dans l'émission centrale et orbiculaire, non la couleur purement safranée, mais une nuance propre, d'abord d'un roux jaunâtre clair, ensuite d'un roux de feuille morte, et plus tard d'un roux brun d'acajou très-intense, très-dur à l'œil, et qui s'est longtemps représenté; quatre à cinq ans ont à peine suffi pour l'adoucir (3).

Les couleurs périodiques des nuages et contre-nuages peuvent, durant tout le cours de leur apparition, se manifester séparément ou simultanément. Celles des contre-nuages, les plus prononcées de toutes, comme on a pu le remarquer, se sont aussi montrées les plus persistantes. Leur intensité particulière est comparable en quelque sorte à celle de l'indigo des amphidisques, et leur fait de même, quand on soulève un peu le bandeau dont les yeux sont couverts, colorer fortement la lumière extérieure.

Fragment 11. — Les Nuages ont offert, à toutes les phases de leur existence, différentes variétés plus ou moins temporaires. Parmi ces variétés, celles qui proviennent du contre nuage primaire, et qui parfois en présentent une complète métamorphose, sont assez singulières pour que je ne puisse me dispenser d'en mentionner quelques-unes. Je décrirai d'abord les deux suivantes.

La première a les mailles ordinaires transformées en lobes larges de deux à trois pouces, ou plus larges encore, demi-

(3) J'omets des détails qu'il sera facile à chacun d'ajouter, en consultant ceux que j'ai précédemment donnés sur cette émission, fragment 6.

circulaires, épais, veloutés, quelquefois déformés ou ridés, brunâtres, roussâtres ou jaunâtres, bordés de blanc ou de jaune clair. La disposition, le velouté de ces lobes les fait ressembler à des agarics réunis sur un même plan et légèrement imbriqués. Cette bizarre modification, fréquente en 1827 et 1828, a disparu quelque temps après.

La seconde variété se compose, sur un fond cendré et velouté, de mailles infiniment nombreuses, larges de six à huit lignes, demi-circulaires, très-régulières, formées par des nervures d'un blanc d'ivoire. Les deux couleurs qui la distinguent imitent exactement par leurs nuances celles du plumage de la pintade. Une des singularités de cette modification est son invariabilité. Elle ne se manifeste que dans la région inférieure et sur certains points où elle occupe quelquefois beaucoup d'espace. L'émission dont elle est l'unité principale, et souvent la seule bien visible, se termine par un faible contre-nuage secondaire et n'est pas toujours redoublée. Malgré son extrême délicatesse, cette variété s'est maintenue plusieurs années presque au même degré, mais elle est aujourd'hui très-affaiblie.

Toutes les variétés du contre-nuage primaire, quelque différence qu'il y ait entre elles, se rapportent facilement à un type unique; je dis toutes, une seule exceptée, une seule, il est vrai, très-variable elle-même et par laquelle je finirai cette longue énumération. La variété dont je veux parler n'offrira plus un fond habituellement noir relevé de nervures jaunes ou blanches, mais, par un contraste difficile à expliquer, elle pourra souvent présenter un fond blanc, jaune clair ou jaune foncé, chargé de nervures noires. Elle est en effet communément blanche ou jaune; moins fréquemment gris jaunâtre,

gris roussâtre, olivâtre, verdâtre, testacée, ferrugineuse, brune, etc., et sur un fond ainsi coloré, marquée d'une infinité de petites nervures transverses, très-noires : ces nervures, longues de huit à dix lignes, sont cylindriques, obtuses aux deux bouts, et sensiblement arquées; elles sont aussi plus ou moins distantes les unes des autres, et tantôt simplement éparses, tantôt disposées en quinconces ou rangées bout à bout par lignes transverses régulièrement espacées. Cette modification n'apparaît que dans les émissions qui débutent par le contre-nuage primaire (1). C'est elle, quand elle se montre, qui les commence toujours; et c'est cette propriété, jointe à la forme de ses nervures, qui me la fait désigner sous le nom de contre-nuage de *début à arceaux*. Elle s'arrête à ce début, ou se reproduit une fois, deux fois au plus; ce qu'elle ne fait pas sans s'altérer; et laisse ensuite paraître le contre-nuage primaire sous son aspect habituel; à moins que l'émission ne continue sans cette unité, et que, de ternaire, par exemple, qu'elle était d'abord, elle ne reste définitivement binaire.

Les contre-nuages de début à arceaux ne se sont manifestés que dans le cours de la diminution, et toujours pour présider à des émissions plus ou moins faibles. Ils se sont d'abord montrés vaguement et passagèrement. Ce n'est guère qu'après 1832 qu'ils sont devenus grands, fréquents, nombreux, variables dans leur couleur. Ils étaient alors tels que je les ai décrits plus haut; mais en 1835 leur surface primitivement veloutée s'est trouvée changée en une surface purement fari-

(1) Ces émissions ont été signalées à l'attention, précédemment, fragment 6, note 4.

neuse; et vers la fin de la même année plusieurs ont offert des arceaux plus grands que de coutume, et même des arceaux non cylindriques, mais fusiformes, c'est-à-dire, épais au milieu, diminués insensiblement et pointus aux deux bouts. En 1836 il s'en est émis sous beaucoup de nuances nouvelles, telles que le gris de perle, le glauque, le bleu ou le bleuâtre, le vert, l'orangé verdâtre, l'orangé rougeâtre, le pourpre, l'incarnat; la plupart avec des arceaux longs de quinze, vingt, vingt-cinq lignes, tous semblables, mais tantôt cylindriques ou plats, très-obtus aux deux bouts; tantôt fusiformes, très-pointus aux deux bouts et très-faiblement courbés. La couleur des arceaux, jusque-là d'un noir profond, s'est aussi mise à varier. Il a tout à coup paru des contre-nuages de début à arceaux d'un blanc mat, à arceaux d'un jaune mat, à arceaux noirs encadrés de jaune, ou noirs encadrés de blanc; de sorte que le caractère le plus frappant, le plus exclusif de ces phénomènes, la couleur particulière de leurs nervures, a fini par se montrer aussi peu constant que les autres, en se tenant toutefois dans les limites que je viens d'indiquer. Ici s'est marqué le terme de cette suite d'innovations. Les nombreuses sous-variétés qui en étaient résultées subsistent presque toutes encore, mais faibles ou nébuleuses, et bien évidemment dégénérées.

Fragment 12. — Après avoir observé et je puis dire analysé les Nuages de manière à bien mettre au jour tous les genres, tous les degrés de composition, de complication, que peut offrir leur émission prise en particulier, il ne nous reste plus qu'à jeter un rapide et dernier coup d'œil sur leur disposition générale.

Les Nuages apparaissent communément dans cet espace plus ou moins éclairé, plus ou moins vaste, que limite de toutes parts le premier plan de l'ensemble des phénomènes permanents. Ils s'émettent la plupart à la surface même de ce premier plan, dont ils n'occupent assez ordinairement que certains points, mais qu'ils recouvrent aussi très-souvent dans toute son étendue, et sur lequel, quand ils ne s'absentent que momentanément, ils laissent encore subsister une légère couche demi-transparente, moins blanche que le nuage primaire, mais bien certainement de même nature (1).

Les principaux Nuages, grands de quelques pieds, et parfois de quelques toises, se manifestent presque uniquement dans la région marginale, surtout à droite, et s'émettent en général de dedans en dehors, ou bien de dehors en dedans en convergeant vers le point central. Les Nuages d'une proportion inférieure se montrent au contraire de préférence dans la région centrale ou dans son voisinage, et se portent dans toutes les directions indistinctement. Je n'en excepte pas ceux qui passent sur le point central même; car ce n'est qu'à certains jours, et dans certains moments, que ce point est occupé par l'émission orbiculaire infundibuliforme ou discoïde qui lui est propre (2).

A cette disposition habituelle et à peu près générale s'unissent de temps en temps des dispositions plus particu-

---

(1) Cette couche ne se rend bien visible que dans certains états. Elle peut favoriser la production des contre-nuages, quand ceux-ci commencent l'émission.

(2) Voyez la description détaillée de cette émission, ci-devant, fragment 6.

lières. Ainsi l'on voit quelquefois çà et là deux émissions conjuguées, c'est-à-dire, partant ensemble du même point pour se porter sur deux points diamétralement opposés, ou bien encore deux émissions partant de deux points écartés, en s'avançant directement l'une sur l'autre, pour aboutir à un point commun et continuer ce mouvement tout le temps de leur durée. On voit aussi quelquefois de nombreuses et fortes émissions dont le mouvement s'opère sur la même ligne et dans le même sens, se disposer par séries, soit longitudinales, soit transverses. La plus notable des séries longitudinales est celle qui parcourt la région intermédiaire de la base au sommet, ou seulement de la base au point central. Ces dispositions restreintes, dont aucune, à l'exception de la dernière, ne s'est peut-être jamais présentée deux jours de suite, n'en ont pas moins été très-remarquables autrefois.

Les Nuages sont des phénomènes rigoureusement quotidiens, mais, comme tous les phénomènes intermittents, ils ont des époques de rareté, d'autres de fréquence, et chacune de ces époques peut se prolonger des mois entiers. Elles sont totalement indépendantes de la faiblesse ou de la force des exacerbations. A tous les degrés, il y a des exacerbations très-nuageuses, et d'autres qui le sont très-peu. Ce n'est cependant que dans les exacerbations d'une certaine violence que les Nuages prennent leur plus grand développement. Qu'on se figure l'ensemble des phénomènes permanents, offrant dans son état de dilatation une surface dont l'œil ne peut mesurer l'étendue, et de laquelle s'échappent de tous côtés, avec la plus extrême vélocité, des Nuages de toutes proportions, de toutes formes, et pour ainsi dire de toutes couleurs, depuis la plus sombre jusqu'à la plus vive; car les couleurs

périodiques et non périodiques se trouvent alors réunies : ces mêmes Nuages augmentant de nombre rapidement, et envahissant bientôt la dilatation tout entière, variant incessamment de direction, se croisant, se contrariant dans tous les sens; les émissions les plus diverses, à l'exception peut-être de l'émission centrale, perdant en quelque sorte leur individualité, leur existence propre, pour se confondre en une seule, d'une étendue, d'une complication également infinies ; les réseaux de pyrophis se multipliant au sein de cette confusion, reproduisant sur tous les points et à tout instant leur pénible éclat, leur affreuse magnificence; cette exaltation générale se soutenant quatre, six, huit heures et plus, sans autre repos que des suspensions de quelques secondes, au milieu de crises nerveuses dont le souvenir seul est insupportable, et que leur excès même ne me permet pas de retracer (3).

L'apparition des Nuages à ce haut degré d'intensité n'a jamais été très-fréquente, et serait, je pense, impossible aujourd'hui. Ces phénomènes ont trop perdu de leurs qualités, soit actives, soit matérielles, pour s'émettre désormais avec tant de profusion et de vigueur. Leur diminution sous ce point de vue est incontestable et paraît assurée; mais, quelque importance qu'on lui suppose, ne semblera-t-elle pas bien insignifiante, si l'on songe au nombre d'années qu'il a fallu pour l'accomplir?

---

(3) Je pourrais en dire quelques mots, si j'étais un jour amené à parler des crises et de leurs différentes sortes.

NOTICE

SUR

L'EFFICACITÉ DU MOXA

ET SUR LES

INCONVÉNIENTS DU GALVANISME

DANS CERTAINES NÉVROSES OU AFFECTIONS PARALYTIQUES,

PAR M. LE BARON LARREY,

EX-CHIRURGIEN EN CHEF DE L'HÔTEL ROYAL DES INVALIDES,

Lue à l'Académie des sciences, le 10 août 1840.

DANS l'intérêt de la science et de l'humanité, je crois devoir communiquer à l'Académie quelques réflexions nouvelles sur les grands avantages que nous avons retirés de l'application du moxa dans certaines névroses et affections paralytiques graves, contre lesquelles on avait inutilement fait usage du galvanisme, fortement préconisé contre ces maladies par des médecins justement célèbres; bien que je fusse intimement persuadé qu'une expérience d'une quarantaine d'années, en faisant apprécier à leur juste valeur les effets sur l'homme vivant de l'électricité appliquée ou dirigée

sur nos organes de différentes manières, aurait en même temps fait reconnaître l'efficacité et l'innocuité du moxa, tel que nous l'avons décrit et tel que nous l'avons employé depuis notre retour de la mémorable expédition d'Égypte.

Je croyais même avoir jeté quelques convictions dans l'esprit des membres de l'Académie par les exemples nombreux de succès remarquables que nous avons successivement présentés à ce corps savant sur l'usage de ce topique révulsif, tandis que les recherches et les expériences faites par un grand nombre de médecins, d'ailleurs très-grands physiologistes, sur l'acuponcture, par exemple, accompagnée de l'action de la pile galvanique, ont prouvé que ce moyen, indépendamment de son inutilité, n'était pas toujours exempt de danger. Ainsi nous avons été témoin dans son temps, à l'hôpital militaire du Val-de-Grâce, des effets fâcheux de l'application de cette électricité conduite à l'aide d'aiguilles d'acier dans l'épaisseur des organes, et je n'en ai jamais vu retirer aucun avantage réel. Nous avons nous-même essayé ce moyen en 1832 sur les cholériques de l'hôtel des Invalides. Nous avons constamment remarqué que pendant l'expérience les sujets éprouvaient des convulsions plus ou moins fortes, et que les crampes ou les contractions tétaniques étaient augmentées dans les mêmes proportions; enfin, à l'instant où l'on retirait les aiguilles du corps du patient, il expirait tout à coup, et la couleur cyanosée de la surface du corps de l'individu soumis à cette expérience, prenait une intensité nouvelle. Ici, on ne peut douter qu'il n'y ait eu, après une excitation instantanée, une soustraction subite du fluide nerveux, qui paraît avoir une grande identité avec l'électricité galvanique.

D'après ces faits et les expériences répétées par un grand nombre d'autres médecins, nous pensons, contre l'opinion de quelques-uns d'entre eux, que cette électricité transmise directement sur les nerfs mis à nu, ou sur la moelle épinière, ne serait pas exempte d'accidents plus ou moins graves.

Lorsque le premier en France (en 1792) je répétai, à Mayence, avec le docteur Strack, sur des parties séparées de l'homme vivant, encore palpitantes, les expériences de *Galvani*, je proposai à la société philomatique (de laquelle j'avais l'honneur d'être correspondant), pour sujet d'un prix, « de savoir si dans les paralysies des membres (ne connaissant « pas encore l'efficacité du moxa contre cette maladie), il ne « serait pas possible de diriger sans danger sur les troncs des « nerfs mis à nu des membres frappés de paralysie, des cou- « rants galvaniques? »

Cette société était alors composée des hommes les plus marquants de l'Europe; et en ne parlant que de quelques-uns de ceux qui sont morts, nous citerons les Laplace, les Monge, les Bertholet, les Fourcroy, les Hallé, les Chaptal, et les Cuvier.

Cette société célèbre, dis-je, rejeta ma proposition, considérant cette électricité appliquée sur l'homme vivant non-seulement comme inutile, mais parce qu'elle pouvait être dangereuse et qu'elle était antiphilanthropique (1).

---

(1) Nous transcrivons ici la lettre qui me fut écrite à ce sujet par M. le secrétaire général de cette société.

Je vous répondrai peu de mots, mon cher confrère; vous verrez par le rapport de votre mémoire, qui a été fait à la société, quelle est sa manière de penser sur lui, et ce qu'elle désire vous voir changer aux questions que vous avez proposées

Ce jugement authentique, en me faisant abandonner mes projets, me porta à diriger mes recherches sur les effets du moxa, non-seulement contre les paralysies et les névralgies, mais même contre un grand nombre d'autres affections graves et chroniques. Mes idées sur l'efficacité de ce révulsif se fortifièrent en Égypte, où je le vis employer avec un très-grand succès; nous avons modifié son mode d'application, et nous avons cherché à en donner une description assez précise et assez simple, pour qu'elle fût comprise du vulgaire comme des jeunes médecins, et afin qu'on pût faire le parallèle des effets de ce topique avec ceux produits par l'électricité galvanique.

Pour engager les médecins à faire parallèlement l'application de ces deux agents thérapeutiques, et pour donner une preuve de la vérité de mes assertions, j'ai l'honneur de présenter à l'Académie (au lieu de lui faire un grand nombre de citations) plusieurs sujets complétement guéris, par l'appli-

---

pour le concours; son avis est motivé dans le rapport que je vous annonce; et je n'ai qu'à vous féliciter de sa part du zèle que vous mettez à vos travaux, et à vous remercier du nouveau témoignage de confiance que vous lui donnez. Continuez, mon cher confrère, à contribuer aussi efficacement à la marche des sciences: puissiez-vous venir bientôt avec nous partager nos occupations, et nous aider à concourir aux progrès des lumières. Agréez les témoignages de la parfaite estime de votre collègue.

Signé : Silvestre, *secrétaire de la société.*

Paris, ce 17 mai 1793.

Nota. Le rapport indiqué dans cette lettre n'a pas été reçu par M. Larrey, mais il a su par la suite qu'il avait pour objet de rejeter la proposition qu'il avait faite.

cation de nos moxas, des maladies pour lesquelles on avait employé le galvanisme, et duquel on fait encore le plus grand éloge.

1° Le sujet de la première observation est un invalide nommé Burthé (Pierre), âgé de 58 ans, amputé du bras droit, lequel, revenant de Versailles par les fortes chaleurs de juillet 1836, et étant dans un état voisin de l'ivresse, fit une chute sur la tête, de sa hauteur. Cet invalide, sans doute frappé d'abord d'apoplexie, ayant perdu connaissance, resta dans cet état un laps de temps dont il ne peut apprécier la durée. Cependant, il fut secouru par des passants, et déposé dans la maison la plus voisine, d'où il fut transporté à l'hôtel des Invalides, et placé dans mes salles à l'infirmerie. Le front et la tempe droite de ce vétéran étaient parsemés de légères plaies contuses et d'ecchymoses, et il était en même temps atteint d'une hémiplégie complète du côté gauche, avec une grande gêne dans la prononciation et faiblesse de l'ouïe du même côté.

Cet état était d'autant plus pénible pour ce brave soldat, qu'il est privé du bras droit. Il devait donc nous inspirer un double intérêt; aussi m'empressai-je de lui administrer moi-même tous les secours que ces affections graves réclamaient.

Nous pratiquâmes d'abord une saignée copieuse à la veine jugulaire droite, à laquelle nous fîmes immédiatement succéder des bains de pieds synapisés, et l'application de la glace sur la tête, contenue dans une vessie. Dès le lendemain, et les jours suivants, nous ajoutâmes à cette première émission sanguine des saignées révulsives, faites avec la ventouse scarifiée, que nous posâmes à la base du crâne et sur les côtés du rachis. Enfin, nous passâmes successivement à l'ap-

plication du moxa sur cette première région, et sur le trajet des paires cervicales du côté paralysé.

La sensibilité et les mouvements du pied et de la jambe furent les premières facultés qui se rétablirent chez notre invalide. Parvenu au dixième moxa, il avait recouvré en très-grande partie les mouvements du bras et de la main, tandis que les propriétés tactiles de ses doigts étaient nulles; il ne distinguait point les corps cubiques des corps ronds, une balle de plomb ou de marbre d'une boule de bois, un corps chaud d'un corps froid, etc. (1).

La continuation de l'usage du moxa, jusqu'au treizième inclusivement, rétablit complétement toutes les fonctions des deux membres paralysés, qui se trouvent actuellement dans leur état primitif d'intégrité (2).

2° Nous ajouterons à ce fait remarquable un succès tout à fait analogue, obtenu sur la personne de M. le comte de R***, frappé d'une hémiplégie. La commissure gauche des lèvres était fortement rétractée en arrière, la paroi externe droite de la bouche boursouflée et sans action; les paupières de l'œil de ce côté étaient sans mouvement, et laissaient l'œil à découvert pendant le sommeil. La locution était difficile et

(1) Ces phénomènes prouvent qu'il existe autant de rameaux nerveux particuliers dans les membres thoraciques, comme dans toutes les parties du corps, dont les uns servent exclusivement aux mouvements des puissances motrices, et les autres aux sensations ou à la sensibilité animale, ainsi que l'ont avancé plusieurs anatomistes, et que nous croyons l'avoir démontré dans nos mémoires (voyez le cinquième volume du *Bulletin de la Société médicale d'émulation*, et le premier volume de notre *Clinique chirurgicale*, article des nerfs encéphaliques.)

(2) Cet invalide est présenté à l'Académie.

la prononciation presque nulle. L'action musculaire des deux membres correspondants était très-affaiblie.

Cet état avait été l'effet d'une attaque d'apoplexie cérébrale, que M. de R*** avait éprouvée quelques semaines auparavant, car je ne fus pas appelé à l'époque de l'invasion de cette maladie.

Mon premier soin fut d'ouvrir largement l'une des veines du bras, et d'ôter une quantité suffisante de sang, pour que la déplétion s'étendît aux vaisseaux de la tête. Sans doute que l'ouverture de la veine jugulaire aurait été plus avantageuse; mais le malade, étant effrayé des effets supposés dangereux de cette saignée, ne voulut point la laisser pratiquer (1). Il fallait donc se borner à celle du bras, à laquelle on fit succéder l'application des ventouses scarifiées, posées aux

(1) Dans ce dernier temps, quelques esprits novateurs ont été vivement préoccupés de l'idée que l'air extérieur peut facilement parvenir au cœur, en pénétrant spontanément dans l'une des principales veines qui en sont les plus rapprochées, lorsqu'elle est ouverte par une cause vulnérante quelconque; on s'est étayé, pour confirmer la vérité de cette assertion, de quelques prétendus faits observés sur l'homme, et de plusieurs expériences faites sur les animaux. Mais on a confondu les effets d'un travail morbide spontané ou de fermentation du sang, qui survient dans certaines maladies, telles que le choléra et les fièvres typhoïdes, suivies de la production d'une plus ou moins grande quantité de gaz qu'on remarque après la mort des sujets, dans le cœur et dans les autres voies de la circulation, avec l'air introduit dans l'une des veines précitées, et les effets de l'hémorragie chez les animaux, avec ceux de l'introduction de l'air dans le cœur; tandis que la saignée à la veine jugulaire, quand elle est faite d'après nos préceptes, n'a aucun inconvénient, et offre au contraire les plus grands avantages. (Voyez l'article relatif à cette question, dans ma *Clinique chirurgicale*, tome I^er^, page 356.)

régions cervicales et dorsales. Le malade fut mis à l'usage des délayants pendant les deux ou trois premiers jours, auxquels nous fîmes succéder un léger vomitif; ensuite nous passâmes à l'application du moxa, que nous posâmes un à un à la base du crâne, entre les apophyses mastoïdes et les bosses occipitales inférieures, sur les racines des nerfs affectés, et sur le trajet des paires cervicales du côté paralysé : le nombre total s'est élevé à neuf. Aux deux premières applications, l'action contractile des muscles des parois de la bouche était en grande partie rétablie; à la cinquième, les paupières se fermaient presqu'en totalité, et à la septième, l'équilibre des muscles de la face, et du membre thoracique paralysé, était parfaitement rétabli, et nous n'applicâmes les huitième et neuvième moxas que pour compléter ou confirmer la guérison du malade, et aujourd'hui M. de R*** jouit d'une superbe santé. Ce succès remarquable peut être mis au nombre de ceux que nous avons obtenus aussi rapidement, soit dans les hôpitaux, soit en ville, et que je me dispenserai de récapituler. (Voyez pour les détails de ces observations le recueil de mes mémoires.)

3° Nous rapporterons encore le précis d'une observation qui confirmera totalement le succès du moxa dans un cas de surdité presque complète, pour lequel on avait vainement employé les antiphlogistiques et le galvanisme.

Le sujet de cette observation est encore un invalide, nommé Belker (George), âgé de 52 ans, caporal dans la compagnie des canonniers, l'un de ces intrépides et jeunes artilleurs de l'ancienne garde impériale. Ce soldat fut frappé tout à coup, à la première bataille de Leipzig (1813), au milieu des explosions répétées des charges d'artillerie qui

eurent lieu dans cette journée, d'une surdité si complète, qu'il ne pouvait entendre aucun des sons les plus forts. C'est surtout à un obus qui éclata à ses pieds, et dont l'un des éclats lui fracassa la main droite, qu'il attribua la cause directe de cette surdité, et depuis ce moment, en effet, il n'avait plus entendu ni les coups de canon ni le bruit des cloches ou des tambours. Cette infirmité, et la perte de l'usage de sa main, le firent admettre à l'hôtel des Invalides, et bientôt après il fut transféré à l'infirmerie.

Au dire de ce canonnier, le premier accident (la surdité) fut précédé d'une hémorragie considérable qui se fit par les oreilles, à l'instant de l'explosion de l'obus; ce qui faisait supposer la rupture des membranes du tympan aux deux oreilles. Placé dans les salles des blessés, il fut soumis à un traitement qui a eu pour base des saignées générales et locales, faites avec les sangsues, des vésicatoires posés à la nuque et des rafraîchissants pris intérieurement.

Ce traitement améliora un peu son état; cependant, très-impatient de pouvoir entendre parfaitement, il se fit appliquer le galvanisme en ville, que M. Palaprat lui administra assez longtemps sans en obtenir aucun résultat satisfaisant, et il resta à peu près au même degré de surdité, jusqu'à l'ouverture des chambres, fin de l'année 1835; dans la salve d'artillerie qui eut lieu à cette occasion, ce canonnier, se trouvant accolé à l'une des pièces de canon, reçut, au moment où le coup partit, une commotion qui fut suivie d'une nouvelle hémorragie par les oreilles, de maux de tête, et d'une telle aggravation dans sa surdité, qu'il n'entendait plus le son des cloches ni le bruit des tambours qui battaient près de lui; enfin, on ne pouvait communiquer avec cet invalide que par

signes ou par écrit. C'est dans cet état qu'il fut placé dans les salles des blessés à l'infirmerie de l'hôtel (1).

Nous commençâmes notre traitement par une saignée à la jugulaire, à laquelle nous fîmes succéder des pédiluves synapisés, des réfrigérants sur la tête, et des ventouses scarifiées sur les régions latérales et postérieures du cou et du rachis, les délayants pris intérieurement; ensuite nous procédâmes à l'application du moxa.

Nous avions à peine posé le troisième moxa, à l'origine du nerf facial, derrière le lobule de chaque oreille, que ce canonnier entendit la voix des personnes qui l'assistaient, et l'ouïe s'est rétablie progressivement, sous l'influence de ce topique révulsif. Parvenu au huitième moxa, les fonctions auditives de cet invalide, qu'il croyait avoir perdues pour toujours, ont été complétement reproduites (2).

4° Un succès non moins extraordinaire, relatif à la mutité, a été obtenu, à notre grande satisfaction, sur la personne du sieur Carteron, âgé de vingt et un à vingt-deux ans, étudiant en droit. Après avoir passé une grande partie de la journée du 1^er^ mai 1837 à observer les jeux et l'artifice qui eurent lieu pour la fête du roi, et après avoir commis quelques écarts dans son régime ordinaire, ce jeune homme fut frappé, pendant la nuit du 1^er^ au 2 de ce même mois, d'apoplexie instantanée et d'hémiplégie presque complète du côté droit, avec perte totale de la parole. Des médecins ayant été immédiatement appelés, s'empressèrent de lui administrer les secours que son état commandait; et bien qu'il

(1) Où j'étais alors attaché comme chirurgien en chef.

(2) Ces deux invalides ont été présentés à l'Institut.

fût d'une constitution faible et débile, on pratiqua successivement plusieurs saignées aux veines du bras et du pied : on posa, derrière les oreilles, un assez grand nombre de sangsues, des cataplasmes synapisés aux jambes ; on mit ce malade à l'usage des délayants laxatifs, et on avait posé un vésicatoire à la nuque.

Cette médication, quoique rationnelle, n'avait presque point produit de changement ou de modification dans les symptômes de cette maladie, lorsque je fus appelé en consultation près de ce malade le septième jour de l'accident ; je proposai l'application du moxa, qui fut acceptée par mes confrères.

J'en posai deux immédiatement entre les apophyses mastoïdes et les bosses occipitales inférieures. Au troisième cet étudiant prononça quelques mots, qui furent d'abord incohérents ; il répétait ensuite ceux qu'on lui disait, et en peu de jours il en prononça plusieurs spontanément, mais sans ordre ; deux autres moxas, posés derrière les lobules des oreilles, le mirent en état de suivre la conversation. Les mouvements du bras et de la jambe se rétablissaient en même temps avec une rapidité remarquable ; et après l'usage de quatre autres moxas, posés successivement sur le trajet des paires cervicales (ce qui porta le nombre total à neuf), toutes les fonctions sensitives et locomotrices furent complétement rétablies chez ce sujet, qui ne tarda point à reprendre ses études de droit, et il a joui, pendant plus d'une année, d'une parfaite santé. Il y a peu de temps qu'il a succombé à une pneumonie aiguë pour laquelle je n'ai pas été appelé (1).

(1) M. Larrey l'aurait présenté dans son temps à l'Académie, si le jeune

Un fait curieux, qui s'est encore rencontré dans ma pratique en ville, a fait ressortir le succès du moxa mis en parallèle avec l'électricité galvanique ; je vais rapporter le précis de cette observation.

5° Le sujet qu'elle concerne est le nommé T..., âgé de quarante-cinq ans, ou environ, marchand de vin, rue Saint-Martin, à Paris.

Ce sujet avait essuyé plusieurs affections assez graves depuis l'âge de dix-huit ans, époque où il avait contracté une maladie contagieuse, caractérisée par tous les symptômes qui lui sont propres. A la guérison, ou plutôt à la disparition de ces symptômes, succéda une éruption pustuleuse aux bras et aux jambes, que d'autres médecins avaient reconnu être produite par cette dernière maladie ; et bien que le sujet eût subi un traitement plus ou moins prolongé contre ces pustules, elles n'ont disparu que très-imparfaitement, car à l'époque où nous avons vu ce malade pour la première fois, il en existait encore d'assez sensibles aux jambes et aux deux bras. Cependant, vers l'âge de vingt-cinq ans, elles avaient presque entièrement disparu ; mais alors il fut saisi d'un rhumatisme aigu, qui avait envahi toutes les articulations des quatre membres. Il fut transporté dans cet état à l'hôpital Saint-Louis, où il subit, pendant deux mois, un traitement qui avait pour base l'usage des sirops sudorifiques et les bains de vapeur ; enfin, il rentra dans un état de santé assez satisfaisante pour pouvoir reprendre ses occupations ordinaires ; néanmoins il éprouvait périodiquement, et sur-

---

homme n'avait craint de déplaire à son cousin, l'un des médecins célèbres de ce corps savant.

tout pendant la nuit, des douleurs aux articulations des membres pelviens, et sur le trajet des os de ces extrémités.

Enfin, en 1832, il fut saisi tout à coup d'une névralgie faciale, fixée sur le trajet des nerfs sous-orbitaires, communiquant avec les nerfs moteurs de l'œil droit, le nerf frontal et toutes les branches du facial du même côté. Ces lésions, au dire du malade, et nous l'avons vu dans cet état, étaient caractérisées par des douleurs lancinantes extrêmement vives, des convulsions des muscles de tout le côté droit de la face, des mouvements de rotation au globe de l'œil, de déviation de la bouche de ce côté, et d'une teinte cramoisie de la peau de tout le côté malade; le tissu des gencives des deux mâchoires, surtout du côté droit, était tuméfié, douloureux; la dent canine était déchaussée, et les premières molaires droites, qu'on avait trouvées nécrosées, avaient été arrachées. Les accès duraient quelquefois des heures entières, et se répétaient fréquemment, surtout pendant la nuit.

Ce malade ayant acquis un peu d'aisance, fit appeler l'un des premiers médecins opérants de Paris, qui le mit immédiatement à l'usage des pilules de Meglin, que le malade prit en très-grande quantité (12,000). Plusieurs vésicatoires furent aussi successivement appliqués au côté droit du cou, à la région temporale et sur la tête, qu'on avait préalablement fait raser. Pendant la nuit on administrait l'acétate de morphine, que le malade était parvenu à prendre à haute dose, pour obtenir un peu de calme et de sommeil. Enfin, on établit un séton à la nuque.

Malgré l'emploi de tous ces moyens, les accès névralgiques, après s'être un peu apaisés, prirent une nouvelle intensité.

On eut recours alors aux saignées générales et locales, faites avec les sangsues, auxquelles on fit succéder des dérivatifs aux jambes, des réfrigérants sur la tête, et l'usage de sirops sudorifiques. Ces divers traitements furent continués l'espace de deux années et sans résultat.

La renommée qu'on avait faite au galvanisme à l'époque du choléra indien, engagea ce malade à en réclamer l'emploi près du plus zélé partisan de ce moyen tant préconisé contre toutes les maladies nerveuses. Les premières applications de cet agent thérapeutique produisirent, en effet, quelque soulagement au malade; mais les accès reparaissaient toujours, à quelques modifications près, avec la même intensité. Cependant on en continua l'usage avec une persévérance non interrompue pendant une année révolue; enfin, découragé par ces insuccès, le malade finit par s'abandonner aux seules ressources de la nature et à l'application de divers topiques émollients et anodins conseillés par des personnes du vulgaire.

Cependant le mal s'était aggravé progressivement, au point que cet infortuné finit par ne plus trouver un seul instant de calme ou de repos. Les accès devenus très-violents se répétaient plusieurs fois dans les vingt-quatre heures, surtout pendant la nuit, et c'est dans cet état que ce malade vint me consulter dans les premiers jours de décembre 1839.

Un examen attentif me fit reconnaître le tic douloureux ou la névralgie faciale telle que nous l'avons indiquée, et portée presqu'au dernier degré. Nous pûmes aussi apprécier la cause prédisposante de cette cruelle maladie, qu'on pouvait rapporter avec certitude à la présence dans le système général de l'individu du virus que nous avons signalé; cependant, avant

de chercher à combattre cette cause, il était urgent d'en attaquer les effets, c'est-à-dire, l'inflammation des nerfs que nous avons désignés, car, comme nous croyons l'avoir démontré dans le mémoire relatif au *tic douloureux*, cette névralgie a pour cause immédiate l'engorgement ou l'inflammation du névrilème des nerfs où elle a établi son siége, et il est facile de s'en convaincre par le toucher délicat et un peu exercé qui fait reconnaître ces cordons nerveux à travers la peau (surtout chez les femmes), comme étant plus ou moins hypertrophiés. On les suit en effet comme autant de cordes dures et tendues. Ce phénomène s'est surtout fait remarquer chez l'épouse d'un préfet, M. de V*** (1), affectée d'une névralgie temporale.

Chez le marchand de vin, chacune des principales branches du facial qui montent dans cette région (temporale) étaient dures et très-sensibles au toucher; aussi, d'après cette première indication chez Th***, je dus d'abord désemplir les vaisseaux des parties engorgées ou enflammées, et ceux de l'encéphale. Cette indication fut remplie par une forte saignée que je pratiquai moi-même à la veine jugulaire droite; je fis aussi plusieurs applications successives de ventouses scarifiées sur les régions des nerfs affectés, et ces ventouses furent répétées après plusieurs jours d'intervalle. Nous pratiquâmes aussi une saignée à la temporale du côté malade, et nous administrâmes d'abord un léger vomitif, auquel nous fîmes succéder immédiatement l'usage d'un sirop dépuratif et des frictions avec l'onguent napolitain double, de six à huit

(1) Voyez l'ouvrage précité, un volume in-8°.

grammes, faites aux jambes tous les cinq jours, et alternant avec des pédiluves savonneux.

Nous procédâmes en même temps à l'application du moxa. Le premier fut posé à l'origine du nerf facial, derrière le lobule de l'oreille droite, puis plusieurs autres sur le trajet des branches qu'il fournit à la région temporale, où les douleurs paraissaient se développer à l'invasion des accès. Je poursuivis successivement l'irradiation des douleurs sur le trajet du nerf sous-orbitaire et de ses principaux rameaux vers la gouttière canine et l'angle interne de l'œil. Plusieurs autres furent posés successivement sur le trajet du nerf frontal et de ses rameaux jusqu'au cuir chevelu. Je fis extraire d'abord la dent canine que je soupçonnais altérée par un point de carie vers sa racine, ce que son extraction fit vérifier. L'alvéole étant hypertrophiée et dans un commencement de ramollissement, je m'empressai d'y appliquer le cautère actuel.

Les deux ou trois premiers moxas produisirent presque immédiatement un soulagement sensible; parvenu au cinquième, posé sur la tempe, les douleurs névralgiques de cette région furent entièrement dissipées. Ce succès encouragea le malade, qui se laissa poser sans hésitation ceux que nous appliquâmes successivement sur les autres régions du visage, désignées ci-dessus.

Le nombre total de moxas a été porté à trente et un. Tous les symptômes graves de ce tic douloureux ont disparu graduellement, ainsi que les pustules qui restaient encore sur plusieurs parties du corps de ce malade; enfin il est parvenu à une guérison complète, qui s'est manifestée à la fin du mois de mars dernier. Il reste à peine quelques cicatrices à la face

de ce sujet, comme celles que laissent les boutons de la variole (1).

Depuis que nous avons publié plusieurs mémoires sur l'efficacité du moxa, non-seulement dans les maladies dont nous venons de parler, mais encore dans d'autres maladies chroniques, telles que la carie des vertèbres, celle des os de l'articulation coxo-fémorale, la phthisie pulmonaire, les gastrites chroniques ou les tumeurs squirreuses du pylore, celles d'autres organes de l'abdomen, l'anévrisme passif du cœur, etc., nous avons été à même de vérifier sur plusieurs sujets la vérité de nos assertions sur les effets efficaces et surprenants de ce topique révulsif.

Dans un autre moment j'aurai l'honneur de communiquer à l'Académie quelques faits remarquables d'hydropéricardie et d'anévrisme du cœur, dont nous avons obtenu tout récemment la guérison par l'application réitérée du moxa, secondée d'ailleurs d'une médication appropriée aux causes prédisposantes de ces maladies. Aujourd'hui, nous nous bornerons à rapporter l'observation de l'un des sujets que nous avons traités, affecté de l'une de ces maladies la plus grave, sans doute, car la terminaison en est ordinairement funeste, quels que soient en général les traitements dont on fasse usage pour la combattre. Je veux parler de la phthisie pulmonaire.

---

(1) J'aurais présenté ce sujet à l'Académie, si, par l'effet d'un préjugé dont la plupart des personnes du vulgaire sont imbues, il n'eût pas craint de compromettre son honneur et de contrarier les vues de quelques médecins, intéressés à déprécier notre médecine révulsive, qu'on suppose

Le sujet de cette observation, Adolphe B***, âgé de 18 à 19 ans, d'une constitution éminemment lymphatique, après s'être épuisé par une incontinence immodérée et après avoir contracté une blennorrhée qui fut traitée par les antiphlogistiques et les injections astringentes, il fut attaqué de tous les symptômes d'une pneumonie aiguë, qu'on chercha à combattre par les saignées générales, l'application des sangsues sur la poitrine et un régime rafraîchissant. Les principaux symptômes de cette phlegmasie s'apaisèrent en effet, mais ils furent bientôt remplacés par ceux qui caractérisent la phthisie pulmonaire, tels que les douleurs sourdes, profondes, que le malade éprouvait aux deux côtés de la poitrine, un mouvement fébrile avec exacerbation le soir, hémoptysies fréquentes, toux presque habituelle, peau sèche, rugueuse, la paume des mains brûlante et sèche, les ongles recourbés vers la pulpe des doigts, des sueurs et des pollutions nocturnes, enfin une anorexie complète. A ces symptômes se joignaient une matité sensible dans toute la moitié inférieure droite du thorax, avec une exubérance anormale considérable de tout ce côté, des signes d'un commencement d'hydropéricardie, une très-grande gêne dans les fonctions respiratoires, et une anxiété extrêmement pénible.

Ce jeune homme était dans cet état, lorsque je fus le voir à Ville-d'Avray près Versailles, où il avait été envoyé par les médecins qui l'avaient traité à Paris; et au dire de ses parents ces médecins avaient jugé sa maladie sans ressource et comme devant avoir une terminaison funeste et prochaine. En effet,

---

très-douloureuse, pour faire ressortir les prétendus avantages et l'innocuité du galvanisme.

nous le trouvâmes dans un danger imminent ; son visage était bouffi, décoloré ; sa langue rouge, sèche ; la toux très-pénible, avec dyspnée constamment suivie de crachats sanguinolents ou grisâtres ; il survenait souvent des hémoptysies très-fortes ; le pouls était fébrile et petit, la peau sèche ; les urines étaient rares et briquetées ; il existait chez lui un flux diarrhéique presque habituel et une prostration extrême, au point de ne pouvoir se lever dans son lit ; et le signe le plus fâcheux à mes yeux, qui n'a pas été observé, était la courbure très-prononcée des ongles vers la pulpe des doigts.

Malgré cet état fâcheux, je cédai aux instances des parents, et j'osai entreprendre le traitement de ce jeune malade, sans prétendre néanmoins pouvoir le ramener à la santé.

La première indication à remplir, était sans doute de détruire l'acuité de la phlegmasie pour prévenir de nouvelles hémorragies qui auraient été probablement funestes ; dans cette intention, j'appliquai plusieurs ventouses mouchetées aux régions dorsales et sur les hypocondres, auxquelles je fis succéder une embrocation d'huile d'amandes douces, et je prescrivis des boissons mucilagineuses et sédatives, telles que l'eau de poulet émulsionnée et du lait coupé avec de l'eau de chiendent ; pour la nuit, une émulsion calmante et aromatisée avec quelques gouttes d'eau de fleur d'oranger, et des lavements émollients gélatineux à prendre le matin.

Intimement persuadé qu'il existait chez mon malade un principe morbifique latent, résultat de la rétropulsion brusque de la blennorrhée, je prescrivis pour le combattre l'usage d'une liqueur ayant pour base une petite quantité de deuto-chlorure de mercure, me réservant de faire faire plus tard quelques frictions mercurielles aux extrémités inférieures.

L'emploi de ces premiers moyens produisit d'abord un calme sensible; l'hémoptysie et les douleurs cessèrent, le malade dormit un peu, et il avait repris de l'appétit. Je commençai alors l'usage du moxa.

Les deux premiers furent appliqués sur les côtés du thorax, vis-à-vis l'intervalle de la cinquième et de la sixième côte. Leur effet produisit un changement sensible dans toutes les fonctions, et cette amélioration, en encourageant le malade et les parents, fit naître en moi l'espérance d'une terminaison plus heureuse que je ne pouvais le croire.

De légères réactions s'étant manifestées à plusieurs époques et par les moindres causes concomitantes, je faisais dissiper ces nouveaux symptômes de spasme nerveux ou inflammatoires par de nouvelles applications de ventouses mouchetées, de nouveaux moxas ou d'autres topiques révulsifs, tels que vésicatoires (1) et cautères, et à ces topiques on joignait quelquefois l'usage de certains médicaments internes appropriés à chaque complication. De tous ces topiques, le plus efficace sans doute a été le moxa, car à chaque application le malade se trouvait toujours beaucoup mieux. J'en ai posé deux aux régions lombaires pour arrêter la perte séminale: ils produisirent en effet tout le succès qu'on pouvait en espérer (2).

---

(1) J'applique les vésicatoires, formés de poudre de mouches cantharides, passées préalablement à la vapeur de l'eau bouillante, et de camphre, à parties égales, par l'intermédiaire d'une portion de gaze blanche imbibée d'huile d'amandes douces.

(2) Sans doute la médication la plus rationnelle dans la consomption dorsale, produite par l'onanisme ou les pertes séminales, est celle qui a pour base le moxa, posé sur les côtés de la colonne vertébrale, vers les régions lombaires; la quinine mêlée au camphre et à l'extrait gommeux

Le nombre total de moxas que nous avons successivement appliqués à ce jeune homme s'est monté à trente-deux. On choisissait toujours les intervalles des côtes qui étaient le plus en rapport avec les points hépathisés ou ulcérés des poumons. Nous avons aussi établi plusieurs cautères à la partie la plus déclive des hypocondres. Nous avons répété un grand nombre de fois l'application de ventouses scarifiées, et nous avons insisté longtemps sur l'usage de quelques frictions mercurielles faites à de grandes distances, et de la liqueur dépurative prise dans du bon lait de vache.

L'amélioration se manifestait sensiblement sous l'action de l'administration successive de ces moyens, et les signes les plus certains de la disparition des symptômes morbides et du retour des organes à l'état normal, étaient, 1° la cessation des douleurs, de toute espèce de dyspnée et de l'état fébrile; 2° l'affaissement sensible du côté droit du thorax, de manière à reprendre le niveau avec celui du côté opposé, tandis que lorsque nous avons vu le malade pour la première fois, ce premier côté dépassait le niveau du gauche de plus de quatre centimètres. Aujourd'hui, en effet, le mamelon droit se trouve à environ deux centimètres au-dessous de la ligne de celui du côté gauche. Nous avons été le premier à faire connaître ce travail de réduction et de métamorphose des parois de la poitrine dans notre mémoire sur l'opération de l'empyème (1).

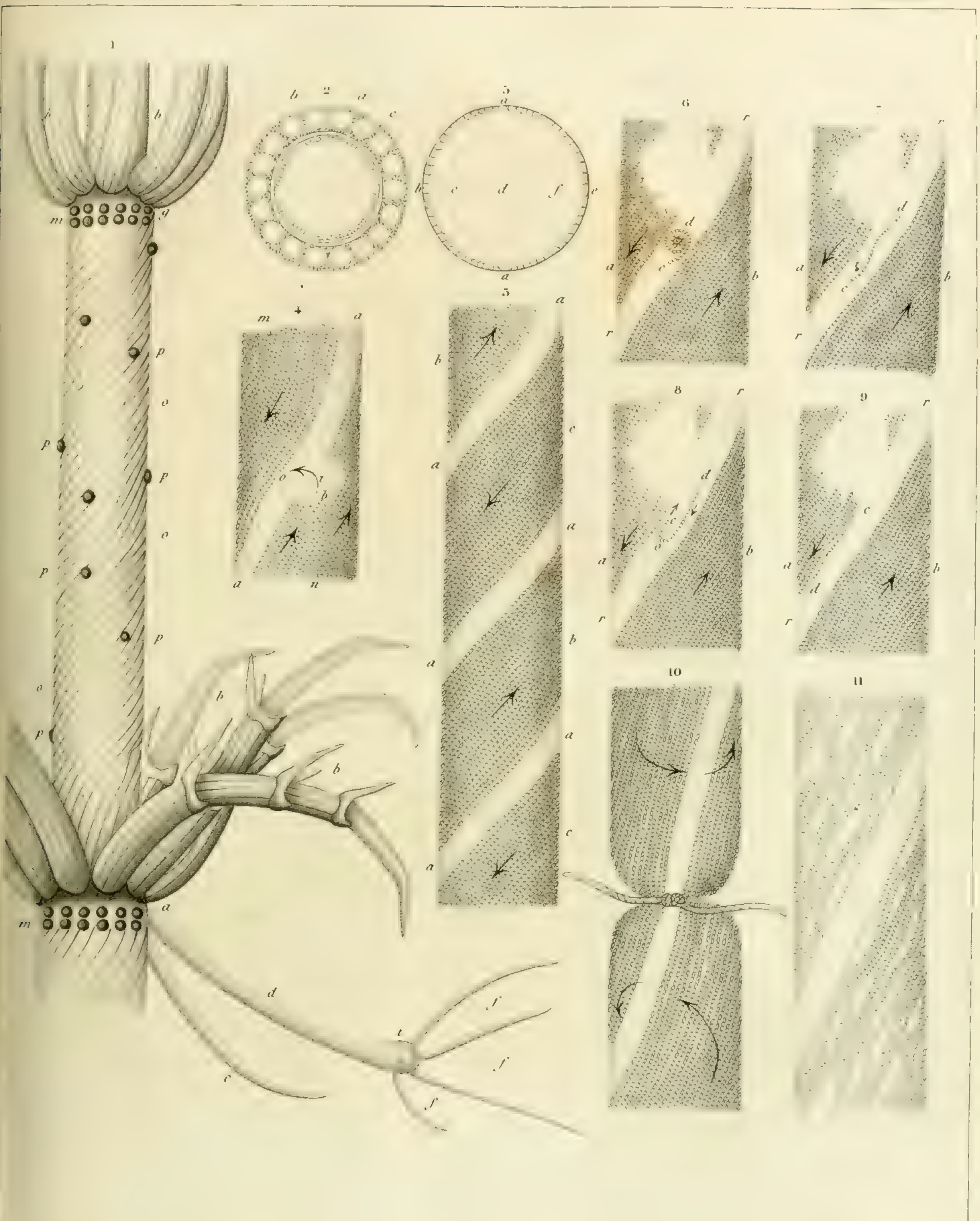
---

d'opium, pris en pilules; les bains froids et un régime analeptique rafraîchissant. Nous avons guéri un assez grand nombre d'individus atteints de pertes séminales au plus haut degré, et menacés de marasme, à l'aide de cette médication.

(1) Voyez cet article au deuxième volume de ma *Clinique chirurgicale.*

Ce phénomène prouve que le poumon droit, qui était primitivement hypertrophié et rempli des tubercules dont les moxas ont certainement opéré la résolution, a été considérablement réduit dans son épaisseur, et de manière à se trouver aujourd'hui au-dessous de son état normal ; d'ailleurs l'auscultation démontre aussi que l'air parcourt maintenant sans obstacle toute l'étendue du système bronchique. Le phénomène le plus extraordinaire pour moi, est le redressement des ongles et leur retour à l'état naturel. Mais comment se recourbent-ils au degré où nous les avons vus chez ce jeune homme et chez un grand nombre d'autres malades affectés de maux de poitrine? Je ne saurais en trouver la cause. Il est vrai que dans toutes les phlegmasies profondes qui se terminent par la suppuration ou par des érosions ulcéreuses, la nutrition de divers tissus qui ne font pas partie du foyer de la maladie, se fait sans doute par un travail concentrique, ou par une circulation centripète qui s'accélère par les progrès du mal.

Enfin, toutes les fonctions se sont parfaitement rétablies chez ce sujet, et il a repris les forces et l'embonpoint de l'homme de son âge jouissant d'une bonne santé. (Le jeune homme est présenté à l'Académie ; il avait été déjà examiné et jugé par M. le professeur Andral, qui en rendra compte sans doute dans ses ouvrages.) Le conseil de révision l'a jugé apte à servir comme militaire.



Mme Tyasse Sc.

Structure et circulation du Chara fragilis.

OBSERVATIONS

SUR

LA CIRCULATION DES FLUIDES

CHEZ

LE CHARA FRAGILIS *DESVAUX*,

PAR M. DUTROCHET,

Lues à l'Académie des sciences, le 4 décembre 1837 (1).

§ I.

Exposé historique.

La découverte de la circulation qui existe dans les *Chara* est déjà ancienne; elle appartient, comme on le sait, à Corti,

(1) Ce mémoire a été publié pour la première fois en 1838 dans les *Annales des sciences naturelles*, 2e série, t. IX. Dans cette seconde publication il se trouve modifié dans sa rédaction et augmenté de nouvelles observations.

et remonte à l'année 1774 (1). Ce physicien fit sur les Chara beaucoup d'observations et d'expériences. A peine cette découverte eut-elle été annoncée, qu'un autre observateur italien, Fontana (2), s'empressa de répéter les observations de Corti. Ce dernier publia, peu de temps après, de nouvelles observations sur une circulation analogue à celle des Chara, et qu'il avait observée dans une plante aquatique qu'il ne désigna que d'une manière imparfaite (3), et que l'on a reconnue depuis pour être le *Caulinia fragilis*.

Dans son premier ouvrage, Corti ne s'était pas borné à faire des recherches sur la circulation des fluides chez les Chara; il avait recherché et trouvé une circulation analogue à celle que présentent ces dernières plantes, chez trente autres plantes tant aquatiques que terrestres qu'il ne désigne que fort imparfaitement, ou seulement par leurs noms italiens vulgaires; parmi elles, j'ai pu reconnaître la Courge (*Cucurbita Pepo*), le Concombre (*Cucumis sativus*), la Mercuriale (*Mercurialis annua*), la Consoude (*Symphytum officinale*), le Radis (*Raphanus sativus*), la Tomate (*Solanum Lycopersicum*), le Froment (*Triticum hybernum*) et l'Épeautre (*Triticum Spelta*).

Ces curieuses observations furent négligées par les naturalistes jusqu'en 1807, époque à laquelle Tréviranus observa

---

(1) Osservazioni microscopiche sulla tremella e sulla circolazione del fluido in una pianta aquajola.

(2) Lettre à M. ***, publiée en français dans le *Journal de physique*, en 1776, tome VII, p. 285.

(3) Lettre au comte Paradisi, publiée en français dans le *Journal de physique*, en 1776, tome VIII.

de nouveau la circulation qui a lieu chez le *Chara flexilis* (1), mais il n'ajouta rien à ce qu'avaient dit à ce sujet Corti et Fontana, dont il ignorait les observations. En 1818, M. Amici publia ses observations sur la circulation chez le *Chara vulgaris* (2), et je dois dire ici que ses recherches à cet égard, qui seront exposées plus bas, ne laissent rien à désirer quant à leur exactitude. Plus tard, M. Amici étendit ses recherches au *Caulinia fragilis* (3) qui avait été étudié par Corti dont il confirma les observations; il étudia aussi la circulation chez le *Chara flexilis*. Dans ces derniers temps, de nouvelles recherches ont été faites chez d'autres plantes sur ce même phénomène de circulation végétale par divers observateurs. Je citerai ici particulièrement les observations de Slack (4) sur la circulation des fluides chez le *Nitella flexilis* (*Chara flexilis* L.) et l'*Hydrocharis Morsus-ranæ;* les observations de Pouchet (5) sur les globules circulatoires du *Zannichellia palustris;* celles enfin de Meyen (6) sur la circulation du suc cellulaire dans les plantes. Ce dernier a vu cette circulation

(1) Beytrage zur Pflanzenphysiologie, s. 91.

(2) Memorie della societa italiana delle scienze residente in Modena, tomo XVIII, p. 182. La traduction française de ce travail se trouve dans les *Annales de chimie et de physique*, tome XIII.

(3) Observations microscopiques sur diverses espèces de plantes dans les *Annales des sciences naturelles*, 1824, tome II, page 41.

(4) Transactions of the society of arts, manufactures, commerce, etc., vol, 49. La traduction française de ce travail se trouve dans les *Annales des sciences naturelles*, 2e série, tome I, p. 193 et 271.

(5) *Annales des sciences naturelles*, 2e série, tome III, page 39.

(6) *Annales des sciences naturelles*, 2e série, tome IV, p. 257.

chez le *Vallisneria*, le *Stratiotes* et le *Potamogeton*. Il l'a vue également dans les poils radicaux de l'*Impatiens Balsamina*, du *Vicia Faba*, de l'*Ipomæa cœrulea*, du *Cucurbita Pepo*, du *Cucumis sativus*, du *Veronica Crista galli* et du *Ranunculus sceleratus*. Bien du temps auparavant, R. Brown avait découvert cette même circulation dans les poils staminaux des *Tradescantia*.

MM. Purkinje et Valentin, dans leur beau travail sur le mouvement vibratoire qui existe dans les cils que portent certaines membranes muqueuses des animaux (1), ont jeté un coup d'œil sur le mouvement circulatoire qui a lieu chez les Chara, moins pour l'étudier que pour tenter de l'expliquer par l'hypothèse de l'existence de ce même mouvement vibratoire de cils. Mais l'observation n'a point confirmé leurs soupçons à cet égard; ils n'ont pu parvenir à voir des cils vibrants chez les Chara, ni chez les autres végétaux dans lesquels il existe une circulation cellulaire.

Toutes les circulations dont il vient d'être question sont bien différentes de celle qui a été découverte par Schultz chez les végétaux, et qui meut leur *latex*. Dans cette dernière circulation, à laquelle Schultz donne le nom de *cyclose*, le liquide se meut dans des vaisseaux anastomosés les uns avec les autres, et de telle sorte qu'il accomplit un circuit en revenant dans celui de ces vaisseaux que l'on aura pris pour point de départ dans l'observation. Dans la circulation qui

(1) De phænomeno generali et fundamentali motus vibratorii continui in membranis, tum externis tum internis, animalium plurimorum, § 3 et 112.

s'observe chez les Chara et chez les autres plantes dont il vient d'être question, le mouvement rotatoire du liquide s'accomplit dans une cavité close, tube ou cellule, marchant le long des parois de cette cavité jusqu'à ce qu'il soit revenu au point que l'observateur a pris pour point de départ.

§ II.

Organisation du *Chara fragilis*.

Tous les Chara offrent des tiges grêles dont les mérithalles tubuleux sont remplis dans leur cavité centrale par un liquide mêlé de globules. La cavité centrale et tubuleuse de chaque mérithalle est séparée par une cloison à l'endroit des nœuds des cavités pareilles que possèdent les deux mérithalles voisins. Autour de chaque nœud sont disposées en verticille huit feuilles linéaires que les botanistes considèrent comme des rameaux, parce qu'elles portent les organes de la fructification. Ces feuilles offrent, comme les mérithalles, une cavité tubuleuse centrale remplie par un liquide mêlé de globules. Les racines des Chara sont extrêmement déliées. Leur centre est également occupé par une cavité tubuleuse qui contient un liquide mêlé de globules. Cette cavité tubuleuse, dans chaque racine ou radicelle, ne s'étend que du lieu de la naissance de celles-ci à leur terminaison, ou bien au lieu où elles produisent par ramification d'autres racines ou radicelles. La figure 1 représente amplifiées une tige et des racines de *Chara fragilis*. *a g* mérithalle; *b b b b* feuilles verticillées; *c* racine simple; *d* racine ramifiée à son extré-

mité renflée *i* de laquelle partent les radicelles *ff*. Le mérithalle n'offre pas ou offre à peine un millimètre de diamètre. Observé au microscope, on le voit composé en dehors de *tubes fibreux* placés bout à bout, et dont l'ensemble décrit des spirales parallèles, ce qui indique que le mérithalle est tordu sur lui-même; lorsque ce dernier devient fort allongé, ces spirales parallèles se redressent beaucoup, en sorte qu'elles deviennent dirigées presque suivant la longueur du mérithalle. On voit, de distance en distance sur ce dernier, de petites protubérances globuleuses *p p*. Ce sont les rudiments des spinules qui offrent un bien plus grand développement chez le *Chara hispida*. Au-dessous du nœud terminal de chaque mérithalle, il y a deux rangées circulaires de ces rudiments de spinules *m m*. Dans les angles de jonction latérale des *tubes fibreux* se trouve un tissu cellulaire vert; la cavité de chacun de ces *tubes fibreux* placés bout à bout n'est point en communication avec la cavité du *tube fibreux* inférieur, ni avec celle du *tube fibreux* supérieur, ainsi qu'on le verra plus bas. Ces *tubes fibreux* observés sur la coupe transversale de la tige sont ordinairement au nombre de dix-huit, ainsi qu'on le voit dans la figure 2. Cette partie extérieure de la tige, composée de *tubes fibreux* et de tissu cellulaire vert, forme ce que je nomme le *tube externe*. On peut l'enlever entièrement en le grattant doucement avec un instrument tranchant. On met alors à découvert un second corps tubuleux que je désignerai sous le nom de *tube interne*. Ce second tube, auquel le *tube externe* était adhérent, est formé par une membrane très-mince et très-diaphane; sur ses parois intérieures sont appliqués, avec une faible adhérence, d'innombrables globules elliptiques verts qui sont autant de

petites cellules placées bout à bout en séries rectilignes; ces séries sont disposées obliquement et en spirale en raison de la torsion de la tige sur elle-même, ainsi que cela est représenté par la figure 3. On reconnaît à ce tube membraneux une très-petite épaisseur sur la coupe transversale de la tige, ainsi qu'on le voit en *b* (fig. 2); les globules verts sériés représentent un cercle *c* sur cette même coupe transversale, ainsi que l'a très-bien vu M. Amici. Je considère ces globules sériés comme les cellules les plus extérieures de la moelle dent la partie centrale manque tout à fait, ainsi que cela a lieu dans les tiges fistuleuses de certaines plantes qui vivent dans l'air. Chez les Chara, qui sont des plantes submergées, la tige fistuleuse est remplie d'eau, ou plutôt d'un liquide organique aqueux dans lequel flottent d'innombrables globules, ou petites cellules, tantôt libres, tantôt dans l'état d'association, et que je regarde comme les cellules du centre de la moelle qui ont été désagrégées, et cela dès les premiers temps du développement de chaque mérithalle. C'est la présence de ces globules flottants dans le liquide qui remplit la cavité du tube interne de chaque mérithalle de la tige des Chara, qui sert à faire apercevoir la singulière circulation à laquelle ce liquide est soumis; circulation que M. Amici a parfaitement décrite.

§ III.

Mécanisme de la circulation chez le Chara.

La circulation qui a lieu dans la cavité du tube interne de

la tige, ou plutôt de chacun des mérithalles dont se compose la tige des Chara, n'est pas la seule qui se présente à l'observation chez ces plantes. On voit également une circulation dans plusieurs des *tubes fibreux* qui entrent dans la composition de leur tube externe. Chez le *Chara fragilis*, je n'ai observé cette dernière circulation que dans ceux des *tubes fibreux* qui correspondent, par leur base et par leur sommet, à une spinule rudimentaire, ainsi que cela a lieu, par exemple, pour les tubes *o o o* (fig. 1); les autres *tubes fibreux* ont aussi très-probablement leur circulation, mais on ne l'aperçoit point, et cela parce qu'ils ne contiennent point, comme les tubes *o o o*, de globules flottants qui seuls peuvent faire apercevoir cette circulation lorsqu'elle existe. Les feuilles des Chara sont composées d'articles, et chaque article qui est tubuleux contient, dans sa cavité, un liquide mêlé de globules qui servent à faire apercevoir la circulation qui a lieu dans chacun de ces articles. Enfin les racines et les radicelles des Chara sont tubuleuses, et ont des cavités distinctes dans lesquelles on voit circuler un liquide diaphane qui tient des globules en suspension. Tous ces faits ont été vus et décrits par M. Amici.

La tige du *Chara fragilis* est assez transparente pendant l'été; elle devient opaque pendant l'automne, par le dépôt du carbonate de chaux sur sa surface. Malgré cette transparence de la tige du *Chara fragilis*, on ne peut bien observer la circulation qui a lieu dans son tube interne, qu'en enlevant son tube externe, au moins dans une petite étendue, et sur tout le pourtour de la tige. Sans cela, on confondrait la circulation qui a lieu dans le tube interne avec celle qui a lieu dans plusieurs des *tubes fibreux*.

Lorsque le tube externe est enlevé, on voit, sans aucune difficulté, la manière dont s'opère la circulation dans le tube interne. Les globules, suspendus dans le liquide que contient ce tube, suivent avec une parfaite régularité les rangées longitudinales et parallèles des globules verts qui sont situés sur les parois intérieures de ce tube. Ces rangées, ou séries de globules verts, sont disposées en spirale, en raison de la torsion du mérithalle sur lui-même. Les globules circulants suivent cette direction en spirale. Si les séries de globules verts offrent accidentellement des sinuosités, les globules circulants suivent ces sinuosités; si les séries de globules verts offrent accidentellement une assez longue interruption de continuité, les globules circulants s'arrêtent dans cet endroit, s'y accumulent; puis, poussés par ceux qui les suivent, ils franchissent lentement l'espace dépourvu de globules sériés; arrivés à l'endroit où finit cette solution de continuité des globules sériés, les globules circulants reprennent leur mouvement de progression rapide. M. Amici a déjà annoncé ces faits et je les ai vérifiés. Nous sommes ici censés suivre le mouvement du liquide dans sa progression ascendante, c'est-à-dire, de la base du mérithalle vers son sommet. Cette progression ascendante du liquide s'opère exclusivement dans l'une des moitiés latérales du tube interne, et selon la direction plus ou moins spiralée des séries de globules verts qui tapissent l'intérieur de cette moitié latérale du tube. Arrivé auprès du nœud supérieur où se termine la cavité tubuleuse du mérithalle, le liquide se réfléchit et prend une progression descendante en suivant encore la direction plus ou moins spiralée des séries de globules verts qui tapissent intérieurement l'autre moitié latérale du tube interne. Arrivé au nœud

inférieur où se termine encore la cavité tubuleuse du mérithalle, le liquide circulant se réfléchit de nouveau et reprend la route ascendante qu'il avait suivie précédemment. Ainsi le liquide circulant, dans sa progression ascendante, suit la direction spiralée des séries de globules verts dans une des moitiés latérales de la cavité du tube interne, et, dans sa progression descendante, il suit de même la direction spiralée des séries de globules verts dans l'autre moitié latérale de cette même cavité tubuleuse, décrivant ainsi une double hélice.

La constance et la régularité avec laquelle le liquide circulant et les globules qu'il charrie suivent la direction des séries de globules verts, doivent porter à admettre, avec M. Amici, que ces globules verts sériés qui tapissent l'intérieur du tube interne, sont les sources de l'action invisible qui imprime le mouvement de progression au liquide qui est contenu dans ce tube interne. Or, comme il y a deux mouvements opposés dans ce liquide, il en résulte que les séries de globules verts ont une action inverse dans les deux moitiés latérales du tube interne; aussi ces deux moitiés sont-elles assez nettement séparées l'une de l'autre et de chaque côté par un espace transparent dépourvu de séries de globules verts, comme on le voit en *a a.* (fig. 3); dans la moitié latérale et spiralée *b*, le liquide circulant est ascendant, et dans l'autre moitié *c* ce même liquide est descendant. Dans la bande spiralée et transparente *aa*, il n'existe aucun mouvement de liquide; je nommerai, avec Slack, cette ligne spiralée transparente, *ligne de repos*. Fontana a annoncé le premier, et M. Amici a constaté depuis, que les deux courants opposés que sépare la *ligne de repos* sont en *contact absolu*,

qu'ils n'en sont séparés par aucune cloison. M. Amici donne à cet égard des preuves tellement positives, que l'on a peine à concevoir que cela ait pu faire l'objet d'un doute. Ainsi il a vu que quelques-uns des globules contenus dans le liquide circulant étant accidentellement réunis en une grosse masse globuleuse qui occupait une grande partie du diamètre de la cavité tubuleuse centrale dans laquelle s'opérait le mouvement circulatoire, il a vu, dis-je, que cette grosse masse globuleuse tantôt montait, tantôt descendait, suivant qu'elle s'approchait accidentellement de l'une ou de l'autre moitié latérale du tube interne dans lesquelles le mouvement du liquide circulant était réciproquement inverse. J'ai fait plusieurs observations analogues, et elles prouvent bien que les deux courants opposés ne sont séparés par aucune cloison. Voici une autre observation qui m'est propre et qui confirme cette assertion, en même temps qu'elle achève de prouver que le liquide circulant se meut sous l'empire d'une force qui émane des globules verts sériés. J'ai dit plus haut que lorsqu'il existait une assez longue solution de continuité dans les séries de globules verts, le liquide circulant tendait à s'arrêter dans cet espace dépourvu de globules verts sériés. Or, j'ai observé une fois que près de la *ligne de repos a a* (fig. 4), il existait dans les séries de globules verts une solution de continuité ou interruption assez longue *b*. Dans cet endroit, le liquide circulant et les globules qu'il charriait en venant de *c* arrivés dans l'espace *b* dépourvu de globules verts sériés, au lieu de continuer leur marche vers *d*, ainsi que cela aurait eu lieu sans l'existence de la solution de continuité des globules verts sériés en *b*, se réfléchissaient suivant la direction *i o*, et retombaient ainsi dans le courant descendant et opposé *m*, ce qui prouve avec la

plus grande évidence qu'il n'y a point de cloison séparatrice entre les deux courants opposés. Dans cette même observation, je voyais le courant ascendant, continuer sa route en *n n*, là où les globules verts sériés n'offraient point d'interruption de continuité. Ce sont donc indubitablement les séries de globules verts qui impriment le mouvement au liquide circulant et aux globules inertes qu'il charrie; puisque ce mouvement s'interrompt là où les séries de globules verts s'interrompent, et puisqu'il n'y a point de mouvement aux *lignes de repos*, lesquelles sont dépourvues de globules verts sériés. J'ajouterai à cela que j'ai constamment observé que lorsque les globules verts, quoique non interrompus, cessent accidentellement d'être disposés en séries régulières, et qu'ainsi leur disposition est confuse, le liquide circulant cesse de se mouvoir dans cet endroit, et il se réfléchit vers le courant opposé, de la même manière que cela aurait lieu s'il y avait là une interruption de continuité. Il résulte de cette observation que la disposition régulièrement sériée des globules verts est une condition indispensable pour qu'ils impriment le mouvement de progression au liquide qui les touche; cela permet de supposer que les globules verts ont des pôles, et que ces pôles ont besoin d'être dans un rapport déterminé pour le développement de la force qui imprime au liquide circulant son mouvement de progression; aussi M. Amici a-t-il été porté à considérer les séries de globules verts comme autant de piles voltaïques qui agiraient sur le liquide qui les touche par l'électricité qu'elles produisent. Nous verrons plus bas ce que l'on doit penser de cette hypothèse; toujours résulte-t-il des faits exposés ci-dessus que les globules sériés impriment le mouvement de progression au liquide qui les

touche en vertu d'une action invisible et qui s'exerce à petite distance dans un sens déterminé; or, comme ce sens du mouvement de progression du liquide est inverse dans les deux moitiés latérales du tube interne, il en résulte que, dans ces deux moitiés latérales, les globules verts sériés, agents de l'action motrice, sont disposés en sens inverse relativement à leur faculté de produire cette même action motrice.

L'action motrice qui émane des globules verts sériés meut la totalité du liquide contenu dans la cavité du tube interne que tapissent ces globules. Or, comme cette cavité tubuleuse possède environ $\frac{2}{5}$ de millimètre de diamètre, il en résulte que l'action motrice s'étend, de part et d'autre, à $\frac{1}{5}$ de millimètre de distance des globules verts sériés desquels elle émane. Or, j'ai mesuré l'épaisseur du tube interne que ces globules tapissent intérieurement, et j'ai trouvé que cette épaisseur est à peine de $\frac{1}{100}$ de millimètre. L'action motrice des globules verts sériés devrait donc s'exercer au dehors de ce tube interne, à la même distance qu'elle s'exerce dans son intérieur. C'est ce qu'il m'a paru important d'expérimenter. Ayant dépouillé un mérithalle de Chara de son tube externe, et l'ayant réduit ainsi à son tube interne dans lequel on voyait sans difficulté la circulation, je l'ai placé dans la concavité allongée d'un porte-objet de verre, et je l'ai couvert d'eau, à laquelle j'ai ajouté le liquide circulant rempli de globules flottants que j'ai extrait de plusieurs mérithalles de Chara. Mon mérithalle en expérience était ainsi environné de globules flottants semblables à ceux qui circulaient dans son intérieur : or, ces globules flottants extérieurs ne manifestèrent aucun mouvement, ce qui me prouva que, malgré l'extrême petitesse de la distance qui les

séparait des globules verts sériés, placés en dedans du tube interne, ils n'en recevaient aucune influence motrice. On peut conclure de là ou que la membrane diaphane, qui constitue ce tube interne, n'est pas perméable pour l'influence motrice invisible qui émane des globules verts sériés, ou que ces derniers ne peuvent imprimer de mouvement qu'au liquide qu'ils touchent immédiatement. J'ai expérimenté, en outre, que deux mérithalles de Chara, dépouillés de leur tube externe, étant placés l'un à côté de l'autre et mis en contact immédiat, leurs circulations respectives n'éprouvent aucune influence de ce rapprochement, soit que les côtés en contact offrent la circulation en sens inverse, soit que cette circulation s'effectue dans le même sens. Ainsi il est certain qu'il ne se transmet rien au dehors de l'influence invisible qui meut à l'intérieur le liquide circulant des Chara.

J'ai observé que chez les vieux mérithalles du *Chara fragilis*, il n'y a point de circulation, et j'ai vu, en même temps, que chez eux les globules verts qui tapissent intérieurement le tube interne ont perdu leur disposition sériée régulière; les séries de ces globules verts y sont souvent interrompues; souvent aussi ces mêmes globules verts sont devenus confusément épars; quelquefois même ils ont presque entièrement disparu. Ces globules verts sériés ne sont, en effet, que très-faiblement adhérents au tube interne qu'ils tapissent intérieurement; il paraît que, par le progrès de l'âge, ils perdent cette faible adhérence, et qu'alors ils se détachent, soit en totalité, soit par parties, et qu'ils deviennent flottants dans le liquide central. Alors, ce liquide perd son mouvement circulatoire, qu'il ne devait qu'à l'association en séries régulières des globules verts. Lorsqu'on enlève le tube externe d'un

mérithalle de Chara, en le grattant avec un instrument tranchant, il arrive très-souvent que cette action mécanique, lorsqu'elle est trop forte, détache les globules verts sériés de la paroi intérieure du tube interne qui se trouve mis à nu par cette opération. Alors on voit la circulation se rétablir, après une suspension temporaire, dans les parties où les globules verts ont conservé leur disposition sériée, et ne point se rétablir dans les parties où les séries de globules verts ont été détachées. J'ai observé, dans une de ces circonstances, un fait très-remarquable. L'opération au moyen de laquelle j'avais enlevé le tube externe d'un mérithalle de Chara avait détaché plusieurs des séries de globules verts dans le voisinage de la *ligne de repos r, r* (fig. 6,), et dans la partie qui correspondait au courant descendant *a*. La partie correspondante au courant ascendant *b* avait conservé l'intégrité de ses séries de globules verts. L'une des séries de globules verts *c d*, appartenant au côté descendant *a*, complétement détachée de ce côté, s'était accidentellement placée dans le milieu de la *ligne de repos r, r,* et elle s'était roulée en spirale, comme on le voit dans la figure. Or, après quelques minutes, je vis cette série de globules verts quitter la disposition en spirale et se redresser spontanément, et cela demeurant toujours placée dans le milieu de la *ligne de repos r, r,* comme on le voit dans la fig. 7. Je vis alors un globule flottant *i*, appartenant au liquide circulant et égaré de son chemin, s'approcher de l'extrémité *c* de cette série redressée de globules verts, et prendre, en la suivant, un mouvement de progression jusqu'à son autre extrémité *d*, où ce globule s'arrêta. Ici, je vis manifestement que ce globule égaré se mouvait sous l'influence d'une action motrice dont la série de globules verts était la

source, puisque ce globule suivit la direction de cette série, située cependant dans la *ligne de repos*, et qu'il ne dépassa pas son extrémité. Bientôt un autre phénomène se manifesta. J'ai dit que cette série de globules verts *c d* (fig. 7) appartenait au côté *a*, qui était le côté affecté au mouvement descendant du liquide circulant ; cette série de globules verts, détachée de sa place naturelle et placée dans le milieu de la *ligne de repos*, était donc dans une position renversée, puisqu'elle avait opéré sous mes yeux la progression ascendante du globule flottant *i* de *c* en *d*. Or, je vis bientôt cette série de globules verts, déplacée et accidentellement renversée, tendre à reprendre spontanément sa direction primitive et naturelle. L'extrémité *c* de cette série de globules verts se recourba vers le haut, comme on le voit en *o c* (fig. 8), et s'avança lentement, selon la direction ascendante de la petite flèche qui se trouve placée en avant; cependant, l'autre partie *d o* descendait selon la direction de la petite flèche qui est à côté d'elle, et, de la sorte, la série entière des globules verts se trouva avoir changé de place, bout pour bout, comme on le voit en *d c* (fig. 9), et elle s'appliqua contre la plus extérieure des séries de globules verts, du côté descendant *a* auquel elle appartenait primitivement. On notera que ce mouvement de retournement s'est opéré dans un sens diamétralement opposé à celui du courant descendant *a*, dans le voisinage duquel il a eu lieu, et que, par conséquent, on ne peut attribuer ce phénomène de retournement à une impulsion du liquide circulant; ce phénomène dépend donc d'une action spontanée. Ainsi, nous voyons s'exécuter successivement les phénomènes suivants : 1° une des séries de globules verts du Chara étant détachée de la paroi intérieure du tube interne

par une action mécanique exercée sur ce tube et portée, par hasard, dans le milieu de la *ligne de repos*, elle s'y roule d'abord spontanément en spirale; 2° ensuite elle reprend spontanément sa rectitude première; 3° se trouvant accidentellement renversée du haut en bas, elle se recourbe sur elle-même par un mouvement spontané, et se retourne de bas en haut, pour finir par se placer, côte à côte, avec la série de globules verts la plus extérieure du côté auquel elle appartenait primitivement. Cette succession d'actions spontanées est fort surprenante, car on ne connaît point d'actions physiques qui soient capables de les produire. Ce sont cependant là, bien certainement, des phénomènes physiques; mais ils sont d'un ordre inconnu et font partie de ceux que nous désignons sous la dénomination mystérieuse de *phénomènes vitaux*. Ces phénomènes ont ici leur siége dans les petits corps verts que, pour abréger, j'ai désignés sous le nom de *globules*, et qui sont, dans le fait, des cellules fort petites et longitudinalement sériées, comme le sont toujours les cellules de la moelle à laquelle elles paraissent ici appartenir, étant tout ce qui reste de cette masse cellulaire centrale chez les Chara. Ce sont véritablement des cellules à l'*état naissant*, et elles jouissent, à cette époque, de propriétés particulières, de *propriétés vitales et motrices* que ne possèdent point les cellules dont le développement est plus avancé. J'ai fait voir, dans un autre travail (1), que le *tissu fibreux* des végétaux est dans le même cas : il possède à l'*état naissant* des *pro-*

(1) Voyez dans mon *Mémoire sur le sommeil et le réveil des plantes*, t. I de la collection de mes Mémoires, page 503.

priétés vitales et motrices toutes spéciales, et que ne possède point ce même tissu fibreux lorsqu'il est plus âgé ou plus développé. Ces *propriétés vitales et motrices* que possèdent les organes élémentaires des végétaux, lorsqu'ils sont à l'*état naissant*, établissent un rapprochement très-remarquable entre les végétaux et les animaux sous le point de vue de la faculté commune qu'ont les organes élémentaires végétaux à l'*état naissant*, et les organes moteurs élémentaires des animaux à l'*état normal de développement*, d'exécuter les mouvements spontanés que l'on désigne généralement sous le nom de mouvements d'*irritabilité*. En perdant, par le développement ultérieur, leur *état naissant*, les organes élémentaires végétaux perdent leurs *propriétés vitales et motrices*. Or, M. Payen (1) a découvert ce fait curieux et fort important que, chez les végétaux, tout *organe naissant* renferme beaucoup de matière azotée, et qu'à mesure que l'organe se développe, la matière azotée diminue relativement à la matière non azotée, qui devient, peu à peu, tout à fait prédominante. Ainsi, l'existence, chez les végétaux, des *propriétés vitales motrices*, paraît liée à l'existence d'une grande quantité d'azote dans leurs *organes naissants*, ce qui rapproche ainsi ces organes de ceux des animaux sous le point de vue de la composition chimique. Or, les Chara contiennent beaucoup

(1) *Mémoire sur la composition chimique générale des divers organes des végétaux phanérogames.* Voyez le rapport fait par M. Dumas, conjointement avec M. Turpin et moi, sur ce mémoire, rapport publié dans le premier semestre (1838) des *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, page 131.

d'azote (1), et cela coïncide avec les observations qui seront exposées plus bas, et qui font voir que les Chara présentent à peu près les mêmes phénomènes que les animaux sous l'influence des agents extérieurs. Cette digression m'a un peu éloigné de l'étude de la circulation du Chara; je m'empresse d'y revenir.

M. Amici a surabondamment prouvé, par les expériences suivantes, que les deux courants opposés dont se compose la circulation du Chara sont en contact absolu ou ne sont point séparés par des cloisons. Il a divisé un mérithalle en plusieurs compartiments par une ou par plusieurs ligatures, et il a vu qu'il s'établissait alors autant de circulations distinctes qu'il y avait de compartiments séparés; or, cela n'aurait pas lieu si les deux courants étaient séparés par des cloisons. J'ai vérifié l'exactitude de ces expériences de M. Amici. J'ai divisé un

(1) L'existence d'une grande quantité d'azote chez le *Chara fragilis* a été constatée par M. Payen au moyen des expériences suivantes, qu'il a entreprises à ma demande:

« Le Chara, desséché dans le vide, à plus de 50 degrés centésimaux, « fut calciné dans un tube. Les vapeurs dégagées, mises en contact avec « la teinture rouge de tournesol, la firent immédiatement virer au bleu, « qui persista jusqu'à la fin de l'opération : elles contenaient donc une cer- « taine quantité d'ammoniaque en excès sur la proportion équivalente aux « acides carbonique et acétique, que la calcination avait aussi développés, « ainsi que nous l'avons ultérieurement reconnu. La présence de l'ammo- « niaque fut encore constatée par l'acide chlorhydrique, qui produisit, en « s'y combinant, un précipité blanc dans l'air atmosphérique. Le produit « liquide de la condensation des vapeurs ammoniacales offrait d'ailleurs des « gouttelettes de cette huile brune, à odeur forte et fétide, qui caractérise « les produits volatils de la distillation des débris animaux et de diffé- « rentes matières azotées. »

mérithalle de Chara en deux compartiments par une ligature médiane, et j'ai obtenu deux circulations distinctes; j'ai ensuite divisé chacun de ces deux compartiments en deux par deux autres ligatures pratiquées dans leur milieu; j'ai obtenu ainsi quatre circulations distinctes. J'ai coupé en deux ce mérithalle en sacrifiant l'un des quatre compartiments, et les parties séparées ont continué à offrir leurs circulations bornées par les ligatures. Enfin, j'ai encore divisé en deux par une ligature l'un des quarts de mérithalle dans lesquels j'avais obtenu une circulation séparée, et j'ai obtenu ainsi deux huitièmes de mérithalle qui possédaient chacun sa circulation distincte. Je ferai observer que le mérithalle soumis à cette série d'expériences était entièrement dépouillé de son tube externe et réduit ainsi à son tube interne transparent, en sorte que j'observais, avec beaucoup de facilité et sans crainte d'erreur, la circulation qui avait lieu dans l'intérieur de ses compartiments séparés par les ligatures.

Il ne m'a pas paru inutile d'observer si la position dans laquelle se trouve placée une tige de Chara, ou simplement un de ses mérithalles, exerçait de l'influence sur la direction des deux courants opposés dont se compose sa circulation. J'ai vu qu'en renversant le mérithalle du haut en bas, cette circulation n'éprouve aucun changement dans sa direction. Le microscope était alors dirigé horizontalement sur la tige placée verticalement. En un mot, j'ai vu que, quelle que soit la position de la tige, le mouvement circulatoire reste toujours le même; il suit toujours les mêmes voies et dans la même direction. Ainsi j'ai expérimenté, comme M. Amici, qu'en reployant sur lui-même un mérithalle de Chara, de manière à ce que le pli situé dans le milieu de sa longueur ne soit pas assez angu-

leux pour obstruer sa cavité tubuleuse centrale, le mouvement circulatoire continue comme auparavant; le liquide continue sa progression accoutumée en passant d'une partie du mérithalle ployé en deux dans l'autre partie dont la position est renversée.

Une circulation analogue, mais non semblable à celle qui existe chez les *Chara*, s'observe chez les *Nitella*, plantes autrefois réunies aux *Chara*. On doit à M. Slack des observations très-précises sur la circulation des fluides chez le *Nitella flexilis*, qui est la même plante que le *Chara flexilis* observé antérieurement par MM. Amici et Tréviranus. M. Slack a vu que le fluide circulant chez cette plante se trouve compris entre un tube externe diaphane, muni intérieurement de séries de globules verts, et un autre tube ou sac intérieur dans lequel existe un liquide sans mouvement. Des *lignes de repos*, analogues à celles des Chara, existent de chaque côté sur le tube externe du *Nitella;* sur toute la longueur de ces *lignes de repos* le sac ou tube interne est adhérent au tube externe, en sorte que par cette adhérence des deux tubes le long des *lignes de repos*, les deux courants opposés se trouvent séparés l'un de l'autre; ils ne sont point en contact absolu comme chez les Chara. Pour mieux faire comprendre cette disposition, je reproduis ici la figure qu'a donnée Slack de la coupe transversale de la tige de *Nitella*. *a, b, a' e* (fig. 5) est le tube externe doublé intérieurement de séries de globules verts chez le *Nitella*. *a, c, a' f* est le sac ou tube interne de la tige de cette même plante. Ces deux tubes sont adhérents l'un à l'autre aux deux points *a, a'* qui offrent la coupe transversale des deux *lignes de repos*. L'un des courants du fluide circulant, le courant ascendant,

par exemple, étant dans l'intervalle *b*, *c* de ces deux tubes, le courant descendant se trouve dans l'intervalle opposé *f*, *e* de ces mêmes tubes, et il résulte de cette disposition que les deux courants opposés sont séparés l'un de l'autre aux endroits où se trouvent les deux *lignes de repos a, a'* par la cloison que forme l'adhérence mutuelle des deux tubes dans ces endroits. La cavité *d* du tube interne contient un liquide sans mouvement. M. Slack prétend fort à tort que cette observation faite sur le *Nitella* est applicable aux *Chara*, chez lesquels il admettrait ainsi l'existence d'une cloison séparatrice des deux courants opposés. Ces deux plantes, quoique toutes deux de la famille des Characées, quoique possédant toutes deux une circulation dans leur tige, n'offrent cependant point exactement la même organisation. Les *Chara* ont un tube externe composé de tubes fibreux et de tissu cellulaire; leur tube interne est membraneux et doublé intérieurement par les séries de globules verts qui impriment le mouvement circulatoire au liquide contenu dans la cavité de ce tube. Chez les *Nitella* le tube externe *a*, *b*, *a' e* (fig. 5) est membraneux, et c'est lui et non le tube interne *a*, *c*, *a' f*, qui est doublé intérieurement par les séries de globules verts. Il résulte de cette disposition spéciale que la circulation a lieu, chez les *Nitella*, dans les intervalles *b*, *c* et *f*, *e* qui existent entre le tube externe et le tube interne, et non dans la cavité *d* de ce dernier tube, ainsi que cela a lieu chez les *Chara*. Chez ces dernières plantes, les deux tubes externe et interne sont juxtaposés et adhérents; il n'y a point de liquide dans leur intervalle; chez les *Nitella*, ces deux mêmes tubes sont séparés partout, excepté aux *lignes de repos*, par un intervalle dans lequel se meut le liquide circulant. Telle est la diffé-

rence qui existe entre les *Chara* et les *Nitella*, différence que Slack n'a point aperçue.

Les observations rapportées ci-dessus ne permettent plus de douter que la circulation du liquide contenu dans le tube interne des Chara n'ait pour cause une influence invisible émanée des globules sériés ou plutôt des petites cellules de couleur verte et sériées qui tapissent intérieurement ce tube interne et qui sont en contact avec le liquide circulant. De pareilles séries de globules verts existent dans les feuilles et président indubitablement à la circulation que l'on observe dans chacun des articles ou des rameaux dont elles sont composées. Quant aux tubes fibreux qui existent dans le tube externe de la tige des Chara, on ne peut voir s'ils possèdent également des séries de globules verts pour présider à la circulation que l'on voit dans l'intérieur de quelques-uns d'entre eux ; environnés de tissu cellulaire vert qui masque plus ou moins leur organisation propre, cette dernière est difficile à bien voir. Il reste actuellement à savoir si les racines des Chara qui sont tubuleuses, et dans l'intérieur desquelles on observe une circulation, possèdent aussi des séries de globules ou de très-petites cellules pour présider à cette circulation. La couleur verte étant étrangère aux racines des Chara, comme à celles de la plupart des plantes, il s'ensuit d'abord que ces séries de globules ou de très-petites cellules, si elles existent, ne sont pas de couleur verte, et que par conséquent la chlorophylle à laquelle est due cette couleur ne serait pas indispensable pour l'existence de l'action motrice qui préside à la circulation. M. Amici, qui a observé avec beaucoup de soin les racines de Chara, assure n'avoir aperçu aucunes cellules dans leurs parois, qui effectivement n'offrent à l'œil armé

des meilleurs microscopes qu'un tube membraneux extrêmement mince et diaphane comme du verre. Ce tube membraneux est indubitablement composé de globules cellulaires, comme le sont tous les tissus organiques, mais on ne les aperçoit point; on les voit seulement dans les parois de l'extrémité renflée *i* de la racine *d* (fig. 1), partie renflée de laquelle naissent les radicelles *f*, *f*. Cette partie renflée possède en effet des parois beaucoup plus épaisses que ne le sont celles du corps *d* de la racine, et on y aperçoit sans peine de petites cellules incolores et disposées en séries. On ne peut guère douter que ce ne soit de ces séries de globules ou de petites cellules incolores qu'émane l'influence invisible qui met en mouvement de circulation le liquide mêlé de globules flottants que contient la cavité tubuleuse de ces racines. Aussi voit-on ces globules flottants raser toujours de très-près les parois de cette cavité tubuleuse; et comme, dans la partie renflée *i*, les parois sont souvent sinueuses à l'intérieur, on voit les globules circulants suivre avec exactitude toutes ces sinuosités, obéissant ainsi visiblement à une action motrice qui émane de ces parois. Comme le liquide monte d'un côté et descend du côté opposé dans ces racines tubuleuses, il en résulte que les deux côtés opposés que suit le liquide circulant exercent sur ce liquide une action inverse, et qu'il y a entre eux deux *lignes de repos*, ainsi que cela existe pour les autres cavités tubuleuses dans lesquelles on observe une circulation chez le Chara.

Postérieurement à la première publication des présentes observations sur la circulation chez les Chara, M. Donné (1)

---

1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, tome VI, page 605, 1838.

a découvert un fait curieux qui prouve incontestablement que les globules verts de ces plantes impriment le mouvement au liquide qui les touche. Il a exprimé sur une lame de verre le liquide contenu dans la cavité tubuleuse d'un mérithalle de *Chara hispida*. Cette action comprimante a nécessairement détaché et isolé quelques-uns des globules verts appartenant aux séries ou chapelets, et ils sont sortis du tube mêlés au liquide exprimé, chargé en outre de globules inertes. Ce liquide étant soumis au microscope, M. Donné a vu et nous a fait voir, à M. Adolphe Brongniart et à moi, que ceux de ces globules verts qui étaient contenus dans la partie la plus aqueuse du liquide étaient sans mouvement; mais qu'il n'en était pas de même de ceux de ces globules qui se trouvaient au milieu de petites masses d'un liquide plus épais et granuleux contenues dans le liquide aqueux. Ces globules présentaient un mouvement continuel de rotation sur eux-mêmes, et ici la spontanéité de ce mouvement n'était pas douteuse. Il est donc hors de doute que les globules verts sériés du Chara sont animés par une force qui leur est propre ou qui émane d'eux, force au moyen de laquelle ils agissent sur le liquide qui les environne. Si ces globules verts sont fixés, ils impriment du mouvement au liquide environnant; s'ils sont libres et flottants, le mouvement qu'ils tendent à imprimer au liquide environnant réagit sur eux-mêmes et les fait tourner sur eux-mêmes dans un sens déterminé et qui paraît ne point varier.

M. Donné, en pressant fortement entre deux lames de verre un mérithalle de *Chara hispida*, au moyen du compresseur de Purkinje, a vu les séries de globules verts rompues se courber et s'agiter par des mouvements spon-

tanés; il a confirmé ainsi les observations que j'avais faites avant lui, et qui sont rapportées plus haut, touchant la spontanéité des mouvements de ces séries de globules verts. En employant, comme lui, le compresseur de Purkinje pour comprimer un mérithalle de *Chara hispida,* j'ai vu un autre phénomène qui ne s'était point présenté à M. Donné, et qui confirme pleinement les assertions de cet observateur, relativement au mécanisme de la force au moyen de laquelle les globules verts agissent sur le liquide qui les environne. Un fragment de chapelet, composé de cinq globules verts, s'était courbé assez profondément pour rapprocher ses deux extrémités l'une de l'autre, en sorte qu'il formait un cercle complet. Ce cercle, placé par hasard dans une partie de la cavité aplatie du tube interne où la circulation n'existait pas, tournait sur lui-même comme une roue en mouvement, mais presque sans changer de place, et son mouvement de rotation était toujours dans le même sens. Ce mouvement de rotation, bien évidemment spontané, prouve que le chapelet de globules verts ployé en cercle communiquait au liquide environnant une impulsion dirigée suivant la circonférence de ce cercle et dans un sens déterminé, impulsion qui, réagissant sur ce petit cercle en raison de sa mobilité, le faisait tourner sur lui-même par un mécanisme analogue à celui qui fait tourner un soleil pyrotechnique. Il reste donc bien démontré que les globules verts sériés du Chara exercent une action impulsive sur le liquide qui les environne. Lorsque ces globules verts sont isolés, l'action impulsive qu'ils exercent sur le liquide environnant les fait tourner sur eux-mêmes, ainsi que l'a découvert M. Donné; lorsque ces mêmes globules verts sont réunis en série ou chapelet, et que ce

chapelet devenu mobile est courbé en cercle, l'impulsion exercée sur le liquide environnant est dirigée dans un sens déterminé suivant la circonférence du cercle, c'est-à-dire, suivant la longueur du chapelet, et ce chapelet circulaire et mobile tourne sur lui-même; enfin, dans l'état naturel, les globules verts étant réunis en séries ou chapelets fixés à l'intérieur du tube interne du Chara, leur action impulsive s'exerce sur le liquide environnant suivant la longueur et suivant la direction plus ou moins spiralée de ces séries ou chapelets de globules verts. Comme ces chapelets sont fixés, c'est le liquide seul qui se meut.

Les observations de Corti, de Meyen, de Pouchet, de Brown et de Slack, citées au commencement de ce mémoire, ont prouvé qu'une circulation analogue à celle qui existe chez les Chara existe dans les cellules et dans les tubes d'une foule de plantes soit aquatiques, soit terrestres; Meyen et Slack ont vu cette circulation dans toutes les cellules de l'*Hydrocharis Morsus-ranæ*. Il paraît donc infiniment probable que ce phénomène doit exister dans toutes les cellules végétales tant qu'elles contiennent des liquides. Si ce mouvement circulatoire ne se manifeste pas à la vue dans bien des cas, c'est que le liquide contenu dans les cellules ne tient point en suspension des globules qui seuls peuvent faire apercevoir, par leur mouvement, celui du fluide qui les charrie. Ceci est donc un des phénomènes les plus importants de la physiologie végétale, et l'on peut soupçonner, avec assez de fondement, qu'il appartient aussi à la physiologie des animaux.

La circulation qui a lieu dans les Chara paraît rapide par le fait de l'amplification microscopique, mais dans la réalité elle est fort lente. La vitesse de cette circulation varie, comme

on va le voir tout à l'heure, par l'effet de diverses causes, et notamment par l'effet des variations de la température. Or, par le moyen de la mesure micrométrique du champ du microscope, j'ai vu que, par une température moyenne ou de + 10 à 12 degrés centésimaux, les globules flottants que charrie le liquide qui circule dans le tube interne du *Chara fragilis,* parcourent un millimètre dans 35 à 36 secondes. Cette vitesse, qui est la vitesse moyenne de cette circulation, devient un peu plus que double par une chaleur élevée ; elle ne dépasse jamais cette mesure. Ainsi lorsque, dans la suite, je dirai que la circulation du Chara est *lente* ou *rapide,* cela devra s'entendre de son mouvement tel qu'il apparaît dans l'observation microscopique, et comparé à la vitesse moyenne que je viens de déterminer.

§ IV.

Influence de la température sur la circulation du Chara.

Avant d'examiner l'influence que la température exerce sur la circulation du Chara, je vais parler brièvement d'une opinion qui a été émise, il y a plusieurs années, sur la cause de cette circulation. De l'eau dans laquelle flottent en suspension des corps légers et pulvérulents étant mise dans un tube de verre vertical ou peu incliné, fermé par son extrémité inférieure, offre une circulation continuelle. J'ai fait voir, dans un autre travail (1), que ce phénomène dépend de

(1) Expériences sur la circulation des liquides dans les tubes de verre verticaux, tome II de la collection de mes Mémoires, page 560.

l'inégalité très-légère de la chaleur à laquelle sont soumis deux côtés opposés du tube de verre, et cela en vertu de la direction qu'affecte le courant ou la transmission de la chaleur dans l'air environnant; ainsi le courant de la chaleur ayant lieu, par exemple, de gauche à droite, le liquide devenu plus léger au côté gauche du tube, par cela même qu'il est plus échauffé, monte de ce côté, et, par une conséquence nécessaire, il descend au côté droit du tube, en sorte qu'il s'établit une circulation continuelle dans le liquide. Si l'on approche un corps chaud du côté droit du tube, la circulation change de sens; le liquide monte alors de ce côté droit du tube, et il descend du côté gauche. Il est évident que ce phénomène n'est comparable en aucune façon à celui de la circulation qui a lieu dans les Chara. En effet, dans le tube de verre, le mouvement circulatoire suit en droite ligne les parois du tube, tandis que dans la cavité tubuleuse du mérithalle de Chara le mouvement circulatoire suit en spirale les parois du tube dans lequel il s'exécute, en sorte que le même côté de ce tube offre alternativement le mouvement oblique ascendant et le mouvement oblique descendant du liquide circulant. Cette circulation ne dépend donc en aucune façon de l'échauffement inégal des deux côtés du tube, ainsi que cela a lieu pour la circulation qui a lieu dans les tubes de verre. Aussi ai-je expérimenté qu'en approchant un corps chaud de l'un quelconque des côtés d'un mérithalle de Chara, on ne change point la direction du mouvement circulatoire qui a lieu dans son intérieur; seulement on augmente la vitesse générale de cette circulation.

L'auteur de la découverte de la circulation qui a lieu dans les Chara, Corti, a vu que lorsque la température est

à + 16 degrés, la circulation est rapide dans les Chara, qu'elle devient plus lente à + 10 degrés et encore plus lente à + 7 ou 6, et qu'enfin elle s'arrête par un abaissement de la température de + 5 à + 2 degrés $\frac{1}{4}$, selon que la plante est plus ou moins affaiblie dans sa vitalité. Il fit subir à des tiges de Chara un froid de — 5 degrés, et ces plantes reprirent leur circulation dans l'eau dégelée par le retour d'une chaleur suffisante et lentement graduée. Mes expériences sur ce sujet ne concordent pas tout à fait avec celles de Corti. J'ai vu, en effet, la circulation du Chara continuer dans l'eau refroidie à zéro, et même j'ai observé cette circulation pendant douze heures dans l'eau refroidie à un degré au-dessous de zéro, et non convertie en glace pendant cet espace de temps. Cette circulation existe donc tant que l'eau conserve sa fluidité. Je n'ai point vu, comme Corti, cette circulation reprendre par le dégel gradué d'une tige de Chara qui avait été complétement gelée.

J'ai observé, comme Corti, que l'élévation de la température augmente la vitesse de la circulation du Chara, et que l'abaissement de la température diminue cette vitesse. La constatation de ce fait général était importante, sans doute, mais j'ai voulu pousser plus loin mes recherches sur l'influence qu'exerce la température sur cette circulation. J'ai pris trois mérithalles de Chara dont la circulation se maintenait dans l'eau refroidie à zéro. Cette circulation était lente. Je laissai le vase qui contenait l'eau et les mérithalles de Chara refroidis à zéro dans un cabinet dont la température était à + 9 degrés centésimaux. Au bout de quatre heures l'eau du vase avait acquis la température ambiante de + 9 degrés, et la circulation chez les mérithalles de Chara avait acquis à

peu près sa vitesse moyenne. A l'aide d'un appareil d'échauffement, dont je modérais à volonté l'action, j'élevai, dans l'espace d'une heure, la température de l'eau à + 18 degrés centésimaux; alors la circulation devint extrêmement rapide dans les mérithalles de Chara. Dans l'espace d'une autre heure, je portai la température de l'eau à + 27 degrés. La circulation devint alors extrêmement lente; je maintins cette même température de + 27 degrés, et, sous son influence continuée, la circulation commença, au bout d'une heure et demie, à reprendre de la vitesse, qui augmenta peu à peu, en sorte qu'après avoir subi pendant deux heures l'influence d'une chaleur de + 27 degrés, les mérithalles de Chara reprirent une grande vitesse dans leur circulation, vitesse qu'ils avaient d'abord perdue sous l'influence de cette même température. La force vitale qui produit cette circulation, d'abord opprimée par une chaleur trop forte, avait réagi contre cette cause opprimante. L'un des trois mérithalles de Chara soumis à cette expérience avait été employé la veille à une autre expérience, par laquelle il avait subi des changements brusques et considérables de température, dont les effets seront rapportés plus bas. Cette expérience avait, à ce qu'il paraît, affaibli la vitalité de ce mérithalle de Chara, en sorte que sa circulation était demeurée fort lente sous l'influence, continuée pendant deux heures, d'une température de + 27 degrés, tandis que, sous cette même influence, les deux autres mérithalles avaient acquis une circulation rapide par l'effet de la réaction vitale qui s'était opérée chez eux. Ainsi cette réaction vitale n'avait point lieu chez le mérithalle affaibli. Je le retirai de l'eau échauffée à + 27 degrés dans laquelle sa circulation demeurait languissante, et je le transportai dans

de l'eau dont la température était seulement de + 12 degrés ; en peu de minutes ce mérithalle reprit la vitesse normale de sa circulation. Je revins aux mérithalles de Chara dont la force vitale avait réagi contre l'influence opprimante de la chaleur de + 27 degrés, et chez lesquels la circulation, d'abord diminuée par cette chaleur, était redevenue rapide sous son influence continuée ; j'augmentai peu à peu la chaleur de l'eau dans laquelle ces mérithalles étaient plongés, et en une demi-heure je portai cette chaleur à + 34 degrés. La circulation devint de nouveau extrêmement lente dans les deux mérithalles soumis à cette chaleur, mais cette lenteur de la circulation ne fut pas de longue durée ; chez l'un des deux mérithalles la circulation devint rapide au bout d'un quart d'heure, et chez l'autre au bout de vingt-cinq minutes, sous l'influence continuée de cette même température de + 34 degrés. La force vitale à laquelle est due cette circulation avait de nouveau réagi contre l'influence de la chaleur qui l'opprimait. Alors je portai, en quarante minutes, la chaleur de l'eau à + 40 degrés. La circulation devint encore extrêmement lente dans les deux mérithalles, et ce ne fut qu'au bout de quarante-cinq à cinquante minutes d'influence continuée de cette même température que la circulation redevint encore très-rapide ; la force vitale qui l'opérait avait de nouveau réagi contre l'influence de la chaleur accablante qui tendait à l'anéantir. Enfin je portai en vingt minutes la chaleur de l'eau à + 45 degrés ; la circulation, d'abord diminuée de vitesse, s'arrêta complétement. La réaction vitale n'avait pu s'opérer contre l'influence de cette chaleur excessive. Je laissai l'eau se refroidir lentement, mais les mérithalles de Chara qu'elle contenait ne reprirent point leur circulation : ils étaient morts.

Après avoir vu quels sont les effets produits sur la circulation du Chara par des changements lents et gradués de température, il s'agissait d'expérimenter quels sont les effets produits sur cette même circulation par les changements brusques et considérables de température. Un mérithalle de Chara étant depuis longtemps dans de l'eau dont la température était de + 6 degrés centésimaux, je le transportai dans de l'eau échauffée à + 22 degrés; le mouvement circulatoire y prit sur-le-champ une grande accélération de vitesse. Je reportai ce même mérithalle dans l'eau dont la température était de + 7 degrés; le mouvement circulatoire fut de suite diminué, et il reprit ensuite sa vitesse primitive. Je vis ainsi qu'un changement brusque de température dans les limites indiquées ne produisait d'autre effet que d'augmenter ou de diminuer de suite la vitesse de la circulation. Il y avait là une transition brusque de 15 degrés centésimaux. Je pris un autre mérithalle de Chara qui était dans l'eau dont la température était à + 7 degrés, et dont la circulation avait une moyenne rapidité; je le transportai dans de l'eau échauffée à + 32 degrés: il y avait ainsi 25 degrés de différence entre les deux températures auxquelles ce mérithalle était successivement soumis. Au bout de deux minutes je trouvai que la circulation était devenue très-lente; elle se trouva complétement suspendue au bout de cinq minutes. La même température de + 32 degrés étant maintenue, je vis, au bout d'une heure de suspension, la circulation qui commençait légèrement à se rétablir, et une autre heure après elle se trouva complétement rétablie avec beaucoup de vitesse. La force vitale qui opère cette circulation avait ainsi réagi contre l'influence de la chaleur assez considérable à laquelle elle avait été soumise par

une transition brusque et qui d'abord l'avait opprimée et suspendue. Ce même mérithalle dont la circulation se trouvait bien rétablie sous l'influence continuée d'une chaleur de + 32 degrés ayant été replacé dans l'eau qui le contenait primitivement et dont la température était de + 7 degrés, sa circulation fut de nouveau suspendue au bout de quatre minutes, et elle ne se rétablit qu'après une heure et demie de suspension complète, encore cette circulation demeura-t-elle très-lente pendant cinq heures que je continuai à l'observer. Il est probable qu'elle reprit plus tard la vitesse moyenne qui existe ordinairement par la température de + 7 degrés.

Un mérithalle de Chara qui était dans l'eau dont la température était à + 10 degrés, fut transporté dans de l'eau dont la température était à + 2 degrés. Le mouvement circulatoire, dont la vitesse était moyenne, fut d'abord très-ralenti; au bout d'une demi-heure il avait repris presque sa vitesse primitive, par l'effet de la réaction.

La température la plus convenable pour la vie et pour la circulation du Chara paraît être entre + 12 et + 25 degrés centésimaux. En deçà et au delà de ces limites, la vie et la circulation du Chara n'existent qu'au moyen d'une réaction vitale qui finit toujours, à la longue, par être vaincue; et cela, surtout, lorsque ces limites de température sont beaucoup excédées, surtout dans le sens de l'élévation de la température; car j'ai expérimenté qu'on peut conserver le *Chara fragilis* pendant l'hiver, quelque basse que soit la température à laquelle il est soumis, pourvu que l'eau dans laquelle il se trouve ne gèle pas.

En général, l'abaissement de la température diminue la

vitesse de la circulation du Chara, et l'élévation de la température l'augmente *directement* lorsque cette élévation ne dépasse pas les limites de la température la plus convenable à la vie de la plante. Au delà ou en deçà de ces limites, la chaleur diminue *directement* la vitesse de la circulation, en tendant à opprimer la force vitale qui la produit; mais la réaction de cette force redonne subséquemment à cette circulation une très-grande vitesse, en sorte qu'on peut dire que, dans ce cas, la chaleur augmente *indirectement* la vitesse de la circulation. Le froid produit les mêmes phénomènes; son premier effet est de ralentir la circulation du Chara; c'est son effet *direct;* il tend à opprimer la force vitale qui est l'agent de cette circulation; mais, ensuite, la réaction de cette force redonne à la circulation une vitesse qui, il faut le remarquer, est très-loin d'atteindre celle que la réaction de la force vitale redonne à cette circulation sous l'influence de la trop forte chaleur.

§ V.

Influence de la lumière sur la circulation du Chara.

La lumière n'influe sur la circulation du Chara qu'en sa qualité d'agent propre à déterminer les actions chimiques de nutrition et de respiration de la plante. On sait que la lumière détermine la décomposition de l'acide carbonique par les végétaux, d'où résulte la fixation du carbone et le dégagement de l'oxygène. Le carbone, ainsi fixé, est un des principaux éléments de la nutrition des végétaux; j'ai fait voir, dans un

autre travail (1), que l'oxygène, dégagé dans cette circonstance, est introduit dans les organes pneumatiques des végétaux, et qu'il y sert à leur respiration. La lumière, considérée ainsi comme cause de nutrition et de respiration, est une des conditions premières de la conservation de la vie des plantes ; on conçoit donc qu'elle est indispensable pour la conservation de la circulation du Chara ; mais l'expérience apprend qu'elle n'est pas indispensable pour l'existence ni même pour la vitesse actuelles de cette circulation ; car, la température étant la même, il n'y a point de différence dans la vitesse de la circulation pendant le jour et pendant la nuit. Il faut une obscurité très-prolongée pour affaiblir et pour anéantir ensuite ce mouvement circulatoire.

J'ai placé plusieurs mérithalles de Chara dans une obscurité complète, en couvrant le vase qui les contenait avec un récipient opaque autour de la base duquel j'accumulais du sable fin. La température varia, pendant la durée de l'expérience, de + 14 à + 22 degrés centésimaux. Le huitième jour, la circulation devint lente dans les plus vieux mérithalles ; elle était demeurée sensiblement la même chez les jeunes mérithalles. Le seizième jour la circulation s'abolit chez les vieux mérithalles ; elle continua de persister, mais diminuée de vitesse, chez les jeunes mérithalles. Du vingt-quatrième au vingt-sixième jour, la circulation s'abolit dans les jeunes mérithalles ; ils étaient étiolés. Ainsi la circulation dépend de la vitalité de la plante, vitalité qui diminue et finit par s'é-

(1) Recherches sur les organes pneumatiques et sur la respiration des végétaux, tome I de la collection de mes Mémoires, pag. 320.

teindre dans l'absence de la lumière. Cet effet aurait eu lieu plus promptement par une chaleur plus élevée ; car des expériences, déjà anciennement publiées (1), m'ont prouvé que les plantes meurent dans l'obscurité, d'autant plus promptement que la température est plus élevée. J'ai fait voir que cela provient de ce qu'elles subissent les effets de l'asphyxie d'autant plus promptement qu'il fait plus chaud, ainsi que cela arrive de même aux animaux, d'après les expériences de M. Edwards.

§ VI.

Influence de l'air atmosphérique sur la circulation du Chara.

J'ai fait voir, dans le travail cité plus haut, que les végétaux respirent l'oxygène comme les animaux, avec cette différence que c'est spécialement l'oxygène qu'ils dégagent par la décomposition de l'acide carbonique et qu'ils introduisent dans leurs organes pneumatiques qui sert à leur respiration. L'air atmosphérique ambiant ne sert que subsidiairement et d'une manière imparfaite à la respiration végétale. On sait, en outre, que le phénomène de la production de l'oxygène par les plantes, sous l'influence de la lumière, cesse d'avoir lieu lorsqu'elles sont plongées dans l'eau non aérée. La respiration de ces plantes est alors complétement suspendue, et elles s'asphyxient, comme cela leur arrive par l'absence pro-

(1) De l'excitabilité végétale, tome I de la collection de mes Mémoires, p. 555 et suivantes.

longée de la lumière, et même encore plus promptement, puisqu'elles n'ont pas la faible ressource de l'air dissous dans l'eau pour fournir, d'une manière imparfaite, aux besoins de leur respiration. Cette seconde cause d'asphyxie fait cesser, de même que la première, la circulation et la vie du Chara. Je mis une tige de cette plante, composée de quatre mérithalles, dans un flacon aplati, rempli d'eau non aérée, et je bouchai ce flacon, avec son bouchon de cristal, sans y enfermer d'air. Ce flacon avait assez de capacité pour que la plante qu'il renfermait fût environnée d'une quantité d'eau suffisante pour qu'elle pût continuer à vivre longtemps, quoique emprisonnée. J'ai expérimenté, en effet, qu'en mettant des tiges de Chara dans un vase plein d'eau, et bien bouché, elles y meurent par l'effet de la putréfaction de l'eau. Cela arrive d'autant plus promptement qu'il y a plus de Chara dans moins d'eau. Le flacon que j'employai, dans l'expérience que je vais rapporter, avait une capacité plus que suffisante pour que la tige du Chara que j'y plaçai n'occasionnât pas, par son séjour prolongé, la putréfaction de l'eau qu'il contenait. C'est, au reste, ce dont je m'assurai après la fin de l'expérience. La tige de Chara était dans son intégrité, ce qui veut dire que je n'avais enlevé, sur aucun de ses mérithalles, une très-petite portion du tube externe, ainsi que je le faisais ordinairement, afin d'apercevoir la circulation. La transparence de ces mérithalles me dispensait d'avoir recours à ce moyen qui, lorsqu'on l'emploie, avec la réserve que je viens d'indiquer, permet au plus de conserver pendant trois semaines, dans l'état de circulation et de vie, les mérithalles de Chara sur lesquels on a pratiqué cette opération. C'est dans les mêmes circonstances et avec les

mêmes précautions qu'ont été faites les observations rapportées dans le paragraphe précédent. La tige de Chara, reployée en divers sens dans l'intérieur du flacon rempli d'eau, touchait dans plusieurs points aux parois de ce flacon, et c'était dans ces points seulement que je pouvais observer la circulation, parce que c'étaient les seuls où il me fût possible d'amener la tige du Chara au foyer du microscope. Le flacon bouché, comme je l'ai dit, avec son bouchon de cristal, fut renversé dans le mercure, afin d'intercepter tout à fait l'air extérieur. De temps en temps je transportais ce flacon sous le microscope pour observer la circulation dans la tige de Chara qu'il contenait. Cette circulation subsista pendant vingt-deux jours; elle finit avec la vie de la plante. Ainsi, l'asphyxie du Chara, par manque d'air atmosphérique, est arrivée un peu plus tôt que son asphyxie par manque de lumière; et, l'une comme l'autre, elles ont amené, avec la fin de la circulation, la fin de la vie.

§ VII.

Influence des agents mécaniques et des lésions organiques sur la circulation du Chara.

Les causes mécaniques qui agissent sur la sensibilité des animaux exercent aussi de l'influence sur la circulation du Chara; telles sont la *compression*, la *piqûre* et la *brûlure*. Cet ordre de phénomènes a été aperçu par Corti. Cet observateur a vu que, dans le *Caulinia fragilis* comme dans le Chara, la circulation était suspendue non-seulement lorsqu'il coupait certaines parties de ces plantes, mais aussi lorsqu'il leur imprimait des secousses même faibles, et qu'ensuite la

circulation reprenait son cours comme auparavant. Slack a vu que, en coupant la tige de l'*Hydrocharis Morsus-ranæ,* la circulation qui a lieu dans les cellules voisines de la coupure diminue d'abord, et qu'elle reprend ensuite peu à peu sa première vitesse. Ces premiers aperçus sont fort intéressants, et je me suis empressé de suivre leurs indications. J'ai d'abord expérimenté quel effet produisaient les secousses sur la circulation du Chara. Pour cet effet, j'ai placé une tige de Chara dans un flacon aplati et plein d'eau. Ayant frappé très-fort et à plusieurs reprises le fond de ce flacon sur une table, je l'ai promptement transporté sous le microscope, car je pouvais facilement voir la circulation du Chara au travers des parois de ce flacon aplati. Je ne vis point, dans cette expérience bien des fois répétée, qu'aucune influence ait été exercée par ces vives secousses sur la circulation du Chara; ainsi, je ne sais que penser de l'assertion de Corti qui prétend que la moindre secousse suspend cette circulation. Au reste, les secousses vives agissant en produisant un refoulement des parties les unes sur les autres, refoulement qui lui-même occasionne une *compression,* c'est cette dernière action mécanique que j'ai dû étudier en employant des moyens plus énergiques pour la produire. J'ai fait subir une compression modérée à une tige de Chara en la soumettant à l'action du compresseur de Purkinje : le mouvement circulatoire a été suspendu, et il s'est rétabli une minute après, malgré l'influence continuée de la compression.

J'ai parlé plus haut des ligatures au moyen desquelles j'ai établi plusieurs circulations distinctes dans un même mérithalle de Chara. La ligature opère une compression, et l'effet de cette compression est d'arrêter subitement la circulation

générale qui se rétablit ensuite, deux ou trois minutes après, en formant deux circulations séparées. Cette compression est supposée modérée, mais suffisante, toutefois, pour intercepter toute communication entre les liquides qui circulent dans les deux compartiments que sépare la ligature. Les choses étant ainsi, j'ai serré un peu plus la ligature, et cela sans opérer de secousse; les deux circulations ont été suspendues, et ne se sont rétablies que trois à quatre minutes après. J'ai de nouveau serré la ligature, et avec plus de force, les deux circulations se sont suspendues; elles n'ont repris qu'au bout d'un quart d'heure; et, ce qu'il y a de très-remarquable, elles ne sont point revenues, comme précédemment, jusques auprès de la ligature; elles ont opéré leur mouvement de retour, de part et d'autre, à une certaine distance de cette ligature (fig. 10); en sorte qu'il est évident que la forte compression avait aboli, jusqu'à une certaine distance de la ligature et des deux côtés, la force motrice qui mettait le liquide en mouvement. Au bout de deux heures, la circulation avait regagné insensiblement, et de chaque côté, jusques auprès de la ligature. Ainsi, la compression a pour effet direct et primitif la suspension, ou simplement la diminution de l'action motrice sous l'influence de laquelle se meut le liquide circulant, action qui est ensuite rétablie par la réaction vitale, malgré l'influence continuée de la compression, laquelle agit ici sur les globules verts sériés en même temps que sur le tube membraneux que ces globules ou petites cellules sériées tapissent intérieurement.

Les coupures produisent des effets semblables; si l'on coupe les feuilles verticillées situées sur le nœud inférieur ou sur le nœud supérieur d'un mérithalle, la circulation s'arrête dans

son tube interne, et elle ne reprend que quelques minutes après. Il y a eu ici transmission sympathique de l'influence nuisible exercée sur les feuilles. Je n'ai point vu que la circulation centrale d'un mérithalle fût influencée par la section des feuilles dont il est éloigné de toute la longueur d'un mérithalle voisin. Je n'ai fait, il est vrai, cette expérience que par une température de + 12 degrés cent.; peut-être la transmission sympathique de l'influence dont il est ici question s'opérerait-elle de plus loin par une température de beaucoup plus élevée.

Les piqûres produisent encore les mêmes effets : j'ai enfoncé la pointe d'une aiguille extrêmement fine dans l'un des nœuds d'un mérithalle, sans pénétrer dans la cavité du tube interne; le mouvement circulatoire s'est arrêté, et il s'est rétabli au bout d'une à deux minutes; il est alors devenu plus rapide qu'il ne l'était avant l'expérience. Ainsi, l'effet direct de la piqûre a été la suspension par effet sympathique de la force motrice sous l'influence de laquelle se meut le liquide circulant, et son effet indirect a été l'augmentation de cette force motrice par réaction vitale.

Lorsque la pointe de l'aiguille pénètre, même infiniment peu, dans la cavité du tube interne, le mouvement circulatoire s'arrête sans retour, ainsi que le prouve l'expérience suivante. J'ai pris un mérithalle de Chara long d'un peu plus de trois centimètres et ayant trois quarts de millimètre de diamètre ou de grosseur diamétrale, et je l'ai piqué dans son quart supérieur avec une aiguille très-fine que j'ai enfoncée le moins que j'ai pu, et que j'ai laissée fixée dans la blessure, en sorte que le trou qu'elle avait fait se trouvait complétement bouché. Le mouvement circulatoire devint de suite

extrêmement lent; il cessa complétement au bout de cinq minutes, et il ne se renouvela point; il était aboli sans retour. Cependant, la blessure dont l'aiguille fermait l'ouverture ne donnait aucune issue au liquide intérieur du mérithalle. Je m'en assurai en observant au microscope l'endroit où existait cette blessure que je voyais parfaitement remplie par la pointe très-fine de l'aiguille. Je mesurai, à l'aide du micromètre, la longueur de la pointe qui avait pénétré dans le mérithalle dont la transparence favorisait cette observation. Je trouvai que la pointe introduite avait seulement sept centièmes de millimètre de longueur. Alors ayant pris une tranche transversale de ce mérithalle, je mesurai l'épaisseur de l'ensemble des deux tubes interne et externe que la pointe de l'aiguille avait traversé pour arriver dans l'intérieur du tube interne. Je trouvai à cet ensemble une épaisseur d'un peu plus de six centièmes de millimètre. Il résulte de là que la pointe de l'aiguille avait pénétré à moins d'un centième de millimètre dans l'intérieur du tube interne, ce qui ne pouvait opposer aucun obstacle mécanique à la circulation qui avait lieu dans son intérieur. Quelle était donc la cause qui avait aboli cette circulation sans retour? C'est ce que l'état actuel de nos connaissances ne permet pas de déterminer.

J'ai observé que la piqûre de l'aiguille ayant fait cesser la circulation dans le tube interne d'un mérithalle de Chara, les tubes fibreux qui existent dans les parois du tube externe de ce même mérithalle continuèrent d'offrir la circulation qui leur est propre.

Lorsqu'on gratte un mérithalle de Chara avec un instrument tranchant et qu'on le dépouille ainsi d'une partie de son tube externe, cette action mécanique qui lèse le tissu de la plante

produit le même effet que la coupure et la piqûre ; elle suspend la circulation, laquelle se rétablit quelque temps après. J'ai vu, dans ce dernier cas, la suspension de la circulation durer plus de deux heures.

La brûlure des feuilles qui sont situées sur les nœuds supérieur ou inférieur d'un mérithalle de Chara suspend la circulation qui a eu lieu dans le tube interne de ce mérithalle, et cette circulation se rétablit ensuite après quelques minutes de suspension. La brûlure des feuilles qui sont plus éloignées ou qui appartiennent aux deux mérithalles voisins au-dessus et au-dessous du mérithalle observé, ralentit seulement, et pour peu de temps, la circulation qui a lieu dans ce dernier mérithalle. Il y a ici une transmission sympathique assez étendue de l'influence nuisible exercée par la brûlure, mais cette influence n'est pas assez intense pour suspendre la circulation ; elle ne fait que la ralentir.

Les actions mécaniques qui suspendent la circulation chez le Chara produisent souvent en même temps des mouvements convulsifs dans cette plante. Ainsi, j'ai observé que, après avoir gratté un mérithalle de Chara pour le dépouiller d'une petite partie de son tube externe, il se manifeste presque constamment des mouvements convulsifs brusques dont le siége est dans la partie qui vient d'être grattée, c'est-à-dire dans le tube interne là où il est dénudé. J'ai vu une fois cette partie dénudée qui avait peu d'étendue, et qui occupait le milieu du mérithalle, se fléchir profondément de manière à former une équerre des deux moitiés de ce mérithalle ; ayant redressé ce dernier à plusieurs reprises, chaque fois ses deux moitiés retournèrent spontanément et rapidement à leur position de flexion. J'ai vu plusieurs fois des saccades convulsives se manifester lorsque je

pratiquais une ligature sur un mérithalle de Chara dépouillé depuis quelque temps d'une petite partie de son tube externe et chez lequel la circulation était rétablie, en sorte que l'effet produit par la blessure ne subsistait plus. La ligature, ou plutôt la compression qu'elle opérait, produisait alors à la fois la suspension de la circulation et les mouvements convulsifs. Les piqûres produisent les mêmes effets. J'ai vu que, en piquant un des nœuds terminaux d'un mérithalle, ce dernier offrait des saccades convulsives en même temps que la circulation se suspendait dans son intérieur. La suspension de la circulation peut avoir lieu dans tous ces cas, sans qu'il se manifeste de mouvements convulsifs ; mais ces derniers n'ont jamais lieu sans la suspension concomitante de la circulation. Je dois faire observer ici que ces mouvements convulsifs sont ordinairement fort peu étendus, et ne sont, le plus souvent, apercevables qu'au microscope.

Les mouvements convulsifs du Chara se manifestant dans l'endroit où le tube externe est enlevé, cela prouve que c'est dans son tube interne qu'existent les organes qui opèrent ces mouvements. Ce tube interne se compose du tube membraneux et des globules verts sériés qui tapissent son intérieur sans y adhérer fortement. Or, j'ai reconnu que ce sont ces séries de globules verts qui sont les agents des mouvements convulsifs dont il est ici question. Ces séries de globules se courbent en zig-zag comme des fibres musculaires ; le tube membraneux et diaphane auquel elles adhèrent ne participe point à cette action qui le ment d'une manière passive. Cette flexion sinueuse des séries de globules verts est ordinairement peu profonde ; la figure 11 en offre un exemple ; toutes les séries de globules ne se courbent pas simulta-

nément; on en voit beaucoup qui conservent leur rectitude, ce qui prouve que ces séries de globules peuvent agir indépendamment les unes des autres. Je rappellerai ici l'observation exposée plus haut, et qui se rapporte aux figures 5, 6, 7 et 8. Cette observation prouve que chaque série de globules considérée individuellement possède la double propriété de se rouler en spirale sur elle-même, et de se dérouler en se redressant. J'ai fait voir dans un autre travail (1) que les fibres musculaires des animaux présentent exactement les mêmes phénomènes; isolées, elles se roulent en spirale; agrégées en masses musculaires, elles se fléchissent en zig-zag. Je dois me borner ici à faire observer cette analogie singulièrement remarquable, et à renvoyer à ce que j'ai dit au sujet des mouvements de la fibre musculaire dans le mémoire que je viens de citer.

M. Amici a noté et figuré la flexion sinueuse que prennent quelquefois les séries de globules verts du Chara; mais, n'ayant point observé les mouvements convulsifs de cette plante, il n'a pu connaître l'usage ou le but physiologique de cette flexion sinueuse, au moyen de laquelle s'exécutent les mouvements spontanés et convulsifs dont il est ici question. Il n'a point vu que cette flexion sinueuse était le résultat d'une action vitale.

§ VIII.

Influence des agents chimiques sur la circulation des Chara.

Corti a fait un petit nombre d'expériences sur l'influence

(1) De la structure intime des organes des animaux et du mécanisme de leurs actions vitales, tome II de la collection de mes Mémoires, page 488.

exercée par quelques agents chimiques sur la circulation du Chara. Il a vu que cette circulation est arrêtée par l'immersion de la plante dans l'eau salée et dans l'alcool. L'urine, le lait et l'huile lui ont donné le même résultat. M. Amici a vu que l'immersion du Chara dans le vinaigre faisait cesser la circulation. Ces expériences, comme on le voit, sont peu nombreuses et fort imparfaites; l'importance du sujet demandait qu'elles fussent suivies et multipliées.

On a vu plus haut, par les effets que produisent les changements de température sur la circulation du Chara, que la force inconnue, à laquelle est due cette circulation, éprouve une diminution et même une suspension, lorsqu'elle subit l'influence d'un changement dans l'action qu'un agent du dehors exerce sur elle, et qu'elle reprend ensuite son énergie en réagissant contre la cause extérieure toujours agissante qui tend à l'opprimer. J'ai observé les mêmes phénomènes dans l'influence qu'exercent les agents chimiques sur la force qui produit la circulation du Chara. Il y a de même ici une *période d'oppression* et une *période de réaction*. Ces deux périodes sont plus ou moins faciles à observer suivant le degré d'énergie de l'agent chimique auquel on soumet le Chara, et même suivant le degré de la température par laquelle on fait l'expérience. On sent facilement que, si l'on soumet la plante à l'action d'un agent chimique assez puissant pour porter de suite atteinte à son organisation, sa vie et sa circulation seront abolies sur-le-champ; il n'y a donc de réaction possible, de la part du Chara, que lorsque l'agent chimique dont il subit l'action n'excède pas un degré déterminé d'énergie, et ce degré ne peut être connu que par l'expérience.

Par une température de + 25 degrés centésimaux, j'ai plongé une tige de Chara dans de l'eau qui tenait en solution un millième de son poids de potasse caustique préparée à l'alcool. La circulation a été suspendue au bout d'une minute, et elle a recommencé une minute après; elle a duré pendant huit minutes, et elle s'est alors abolie sans retour. Ainsi, la *période d'oppression* a duré seulement deux minutes, et la *période de réaction* a duré huit minutes.

Ayant fait la même expérience par une température plus élevée, je n'ai plus observé de distinction entre les deux périodes d'*oppression* et de *réaction ;* la circulation s'est abolie sans retour au bout de deux à trois minutes. J'ai fait la même expérience par une température de + 20 degrés c.; la circulation s'est suspendue après trois minutes, a repris après huit minutes de suspension, et a duré pendant un peu plus de trois heures.

La même expérience étant faite par une température de + 11 degrés, la circulation s'est suspendue après quatre minutes, a repris après dix-huit minutes de suspension, et a duré pendant huit heures quarante minutes.

J'ai encore fait la même expérience par une température de + 6 degrés. La circulation s'est suspendue au bout de cinq minutes; cette suspension a duré pendant vingt minutes, après quoi la circulation a repris par réaction, et a duré pendant douze heures trente-cinq minutes.

On voit par ces expériences que, sous l'influence du même agent chimique délétère, le Chara maintient sa circulation d'autant plus longtemps que la température est moins élevée. Les deux périodes d'*oppression* et de *réaction* s'allongent lorsque la température baisse; mais la dernière période s'al-

longe beaucoup plus que la première. Ainsi, pour bien observer ces deux périodes, il faut faire ces expériences par une température peu élevée. En outre, il ne faut employer que des tiges de Chara extraites depuis peu de temps de leur lieu natal, car, lorsqu'elles sont conservées longtemps sur des bocaux pleins d'eau, elles perdent une partie de leur vitalité, et alors elles n'offrent plus à l'expérimentateur les mêmes résultats. La réaction, chez ces tiges de Chara affaiblies, devient souvent nulle, et la circulation est assez promptement abolie sous l'influence d'un agent chimique qui l'aurait laissée subsister bien plus longtemps, si la force vitale qui l'opère avait eu plus d'énergie.

Comme on vient de le voir, les alcalis ont la propriété, étant employés à doses convenables en solution dans l'eau, de *suspendre* la circulation du Chara pendant la *période d'oppression;* à doses plus fortes, ils ne permettent aucune réaction; ils *abolissent* plus ou moins promptement la circulation et la vie. Employés à doses extrêmement faibles, ils ralentissent seulement la circulation pendant la *période d'oppression,* ils ne la *suspendent* point. Or, les acides ne produisent que ce dernier effet, celui de la diminution de vitesse de la circulation; jamais je ne les ai vus *suspendre* cette dernière; lorsqu'ils la font cesser, c'est pour toujours, c'est une *abolition* et non une *suspension.* Ainsi, par une température de + 11 degrés cent., une tige de Chara étant plongée dans une solution d'une partie d'acide tartrique cristallisé dans mille parties d'eau (densité 1,00045), on observe, au bout de trois minutes, un ralentissement de la circulation, ralentissement qui dure pendant huit minutes; ensuite la circulation reprend de l'accélération; elle diminue ensuite de nouveau de vitesse, et s'a-

bolit sans retour au bout d'une heure quarante minutes. Si la dose de l'acide est beaucoup plus forte, par exemple, d'une partie d'acide tartrique dans cinquante parties d'eau (densité 1,009), et la température étant toujours de + 11 degrés, la circulation dure pendant dix-huit minutes sans faire voir la succession des deux périodes d'*oppression* et de *réaction;* on ne voit qu'une diminution graduelle de la circulation qui finit par s'abolir sans retour; son abolition est accompagnée de légères convulsions dans la tige. En employant une solution d'une partie d'acide tartrique dans vingt-cinq parties d'eau (densité 1,0175), et par la même température de + 11 degrés, la circulation est abolie au bout de quatre minutes.

Les acides sulfurique, nitrique et hydrochlorique se comportent à peu près comme l'acide tartrique dans ces expériences. Ainsi, l'acide sulfurique à la densité de 1,0015, et par la température de + 11 degrés, abolit la circulation du Chara en 35 minutes, et cette abolition est accompagnée de légères convulsions que j'ai observées au microscope pendant une heure après la cessation de la circulation. Celle-ci finit avec la *période d'oppression;* il n'y a point de réaction. En employant le même acide beaucoup plus étendu d'eau, de manière à lui donner la densité 1,00083, je vis la circulation du Chara, d'abord diminuée de vitesse de moitié environ dans les 35 premières minutes, reprendre peu à peu de l'accélération par réaction, de manière à avoir récupéré la vitesse initiale au bout d'une heure d'expérience. Ensuite la circulation diminua peu à peu de vitesse, et finit par s'abolir au bout de près de trois heures d'expérience faite toujours par la même température de + 11 degrés.

Les acides nitrique et hydrochlorique exercent sur le chara

une action encore plus délétère que ne l'est celle de l'acide sulfurique. En effet, j'ai vu l'acide nitrique à la densité de 1,0008 abolir sans réaction la circulation du Chara au bout de vingt-trois minutes, et l'acide hydrochlorique à la densité de 1,00013 abolir, de même sans réaction, cette circulation au bout de seize minutes, et cela toujours par la même température de + 11 degrés.

Les acides hydrosulfurique et hydrocyanique abolissent la circulation du Chara presque instantanément. J'ai employé ces acides très-faibles, mais sans avoir pu déterminer leur densité.

J'ai voulu voir ce qui arriverait en transportant alternativement une tige de Chara d'une solution alcaline dans une solution acide contenant, la première un millième de son poids de potasse caustique, et la seconde un millième de son poids d'acide tartrique. La plante a été plongée d'abord dans la solution de potasse; après y avoir subi la période d'oppression et avoir établi la période de réaction, elle fut transportée dans la solution acide; là, elle subit une nouvelle période d'oppression que suivit la réaction. Ces mêmes phénomènes se reproduisirent dans quatre autres changements de solution qui furent faits successivement, et la plante mourut dans la solution acide où elle était transportée pour la troisième fois. Cette expérience dura sept heures un quart par une température de + 10 degrés. J'observai que la période d'oppression devenait plus longue à mesure que les changements de solution devenaient plus nombreux. Ainsi, lors de la première immersion du Chara dans la solution alcaline, la période d'oppression dura 22 minutes, pendant lesquelles la circulation fut suspendue durant dix-neuf minutes; lors de la troisième immersion du Chara dans la même solution alca-

line, la période d'oppression dura deux heures quarante minutes, pendant lesquelles la circulation fut suspendue durant deux heures trente-six minutes. Ainsi, il suffit de changer l'agent chimique délétère sous l'influence duquel se trouve le Chara, pour que les deux périodes successives d'oppression et de réaction se manifestent de nouveau.

On a vu plus haut que, par une température de + 11 degrés, la circulation du Chara se maintient pendant environ neuf heures dans une solution qui contient un millième de son poids de potasse caustique, et que cette même circulation se maintient pendant cinquante minutes dans une solution qui contient un millième de son poids d'acide tartrique. L'expérience précédente a prouvé que, en transportant le Chara alternativement dans ces deux solutions et par une température à peu près semblable, la circulation dure pendant sept heures un quart. J'ai voulu voir ce qui arriverait en plongeant les deux moitiés d'un mérithalle de Chara, l'une dans la solution alcaline, l'autre dans la solution acide, dont il est ici question. Ayant rempli deux petits vases de verre avec de l'eau, j'ai plongé dans ces deux vases les deux moitiés d'un mérithalle de Chara ployé en arc et assez long. Ces deux vases, placés sous le microscope, étaient séparés l'un de l'autre par un court espace, que traversait le mérithalle de Chara, pour se porter d'un vase dans l'autre. C'était dans cette portion du mérithalle, qui traversait d'un vase à l'autre, que j'observais la circulation. Cette portion demeurait constamment humectée par l'effet de l'attraction qu'elle exerçait sur l'eau qui remplissait complétement les deux vases. Dans cette expérience, j'observai la circulation pendant cinq heures, et elle me parut devoir durer indéfiniment, ne l'ayant point vue

diminuer de vitesse pendant cet espace de temps. M'étant assuré ainsi de l'existence de la circulation sans aucune altération dans un mérithalle de Chara placé de la manière qui vient d'être indiquée, j'ai mis dans ces deux vases, en remplacement de l'eau, dans l'un la solution alcaline, et dans l'autre la solution acide dont il a été fait mention plus haut, et j'ai placé dans chacun de ces vases l'une des deux moitiés d'un mérithalle de Chara, disposé comme dans l'expérience précédente. La température était de + 10 degrés. La circulation fut abolie sans retour au bout de six à sept minutes. Une seconde expérience, faite de la même manière, me donna le même résultat. Ainsi les actions simultanées de l'alcali et de l'acide sur les deux moitiés du mérithalle de Chara, bien loin de se neutraliser réciproquement, exercent sur la circulation et la vie de cette plante une influence bien plus délétère que celle qui résulte de l'action isolée et générale de l'une de ces deux substances. Dans ce dernier cas, il y a réaction contre l'influence de l'agent délétère, et la circulation persiste pendant un certain temps, tandis que, lors de l'action simultanée de ces deux substances sur les deux moitiés du mérithalle, la circulation et la vie du Chara sont abolies très-promptement et sans manifestation de réaction.

Les sels neutres jouissent, comme les alcalis, de la propriété de suspendre la circulation du Chara pendant la *période d'oppression*. Par une température de + 10 degrés cent., je plongeai une tige de Chara dans une solution d'une partie de sel marin dans quatre-vingt-dix parties d'eau. La circulation se suspendit au bout de quatre minutes, et il se manifesta dans la tige quelques légers mouvements convulsifs. Après huit minutes de suspension, la circulation se rétablit

par réaction et d'abord avec une extrême lenteur ; elle s'accéléra peu à peu, devint rapide, et, ayant persisté pendant près de huit jours, elle finit par s'abolir sans retour. La température n'avait varié pendant ce temps que de + 8 degrés et demi à + 10 degrés cent. Une dose un peu plus forte de sel marin, dissoute dans la même quantité d'eau, abolit plus ou moins promptement la circulation du Chara, sans permettre à la réaction de s'établir. Cette abolition est même instantanée lorsque l'eau contient un cinquantième de son poids de ce sel. Le liquide circulant du Chara prend alors un mouvement rapide et désordonné ; les globules verts sériés se dissocient et nagent avec rapidité confusément épars dans le liquide que contient la cavité centrale du mérithalle.

Dans une autre expérience, faite avec une solution d'une partie de sel marin dans quatre-vingt-dix parties d'eau, j'ai retiré la tige du Chara de l'eau salée, après dix heures d'immersion, et je l'ai replongée dans l'eau pure, de même température que l'eau salée. La circulation, qui, par réaction, était devenue rapide dans l'eau salée, s'arrêta au bout de quatre minutes dans l'eau pure, et ne recommença qu'après cinq minutes de suspension, et cela par une nouvelle réaction.

Ainsi les mêmes effets de suspension de la circulation et de réaction subséquente, qui avaient été déterminés par le transport de la plante de l'eau pure dans l'eau salée, ont été déterminés par le transport de cette même plante de l'eau salée dans l'eau pure, après qu'elle eut séjourné dix heures dans la première.

Je me suis empressé, comme on le pense bien, d'expérimenter quelle était l'action de l'opium sur la circulation du Chara. Déjà Pouchet avait expérimenté que l'opium arrête la

circulation qui a lieu dans les cellules du *Zannichellia palustris* (1); mais, dans cette observation, il n'est point question de réaction subséquente, comme on va voir que cela a lieu chez le Chara. J'ai mis un mérithalle de cette plante dans une solution d'une partie d'extrait aqueux d'opium dans cent quarante-quatre parties d'eau, et cela par une température de + 21 degrés cent. Six minutes après, la circulation s'est suspendue; après un quart d'heure de suspension, la circulation a recommencé lentement par l'effet de la réaction vitale. Cette faible circulation s'est abolie sans retour après avoir duré une demi-heure.

J'ai répété cette expérience en employant une solution d'une partie d'extrait aqueux d'opium dans 288 parties d'eau : suspension de la circulation au bout de huit minutes; retour de la circulation par réaction vitale après dix minutes de suspension; elle devient bientôt plus rapide qu'elle ne l'était dans l'état naturel. La circulation dure ainsi pendant dix-huit heures, diminue ensuite de vitesse, et finit par s'abolir sans retour après vingt-deux heures d'expérience.

En employant une solution d'une partie d'extrait aqueux d'opium dans 575 parties d'eau, la circulation n'a point été suspendue, mais simplement rendue très-lente après cinq minutes. Cette lenteur de la circulation a duré pendant cinq autres minutes, et, un quart d'heure après, la circulation avait repris sa vitesse par réaction vitale.

L'alcool étendu d'eau agit de la même manière que l'opium. J'ai plongé une tige de Chara dans de l'eau, à laquelle j'avais ajouté un vingtième de son volume d'alcool à 36 degrés.

(1) *Annales des sciences naturelles*, 2e série, tome III, p. 41.

D'abord diminution excessive de la vitesse de la circulation après cinq minutes d'immersion ; ensuite, après dix minutes, le mouvement recommence à s'accélérer par réaction vitale, et devient très-rapide : il s'abolit au bout de quarante-deux heures, après avoir diminué graduellement de vitesse. La température fut de + 10 degrés cent. pendant cette expérience. Ce mode d'action de l'alcool se complique de son action coagulante et désorganisatrice, lorsqu'il est moins étendu d'eau.

J'ai observé, comme Corti, qu'une tige de Chara étant plongée dans l'huile d'olives, la circulation s'y abolit au bout de six à sept heures par une température de + 18 degrés cent. Je n'ai point aperçu de réaction dans cette expérience. J'ignore quel est le genre de l'action qu'exerce ici l'huile pour abolir la circulation du Chara. Cette plante étant plongée dans l'huile de térébenthine, sa circulation est abolie presque sur-le-champ.

Je n'ai observé de même aucune réaction en plongeant des tiges de Chara dans de l'eau gommée ou dans de l'eau sucrée. J'ai vu la circulation s'abolir au bout de quatre jours dans de l'eau qui tenait en solution un dixième de son poids de sucre, et durer jusqu'au commencement du troisième jour dans de l'eau chargée d'un cinquième de son poids de sucre; cependant cette dernière solution, qui était assez dense, avait, par endosmose déplétive, soutiré une grande partie du liquide qui remplissait le tube dans lequel s'opérait la circulation, en sorte que ce tube était devenu fort rétréci. Ce rétrécissement devient presque instantané, et la circulation cesse de suite lorsqu'on plonge une tige de Chara dans du sirop de sucre.

§ IX.

Conclusions.

Il résulte de ces expériences que les globules verts disposés en séries dans le tube interne des Chara exercent, à petite distance, sur les liquides qui les avoisinent, une action motrice en vertu de laquelle ces liquides se meuvent selon la direction de ces séries; et comme il y a dans le tube deux ordres de séries dont l'action motrice est inverse, il en résulte que le liquide est dans un état de circulation perpétuelle. Cette même circulation existant dans les racines, dans les parois desquelles il n'y a que des globules incolores, cela prouve que la couleur verte des globules organiques n'est pas nécessaire pour la production de ce phénomène, qui paraît ainsi appartenir à tous les globules organiques végétaux à l'état de vie, c'est-à-dire, à toutes les petites cellules naissantes. Cette force motrice, dont l'agent est invisible, est une *force vitale*, force dont la nature est inconnue; elle est influencée d'une manière nuisible par tous ceux des agents extérieurs qui ne sont pas nécessaires pour l'existence de la vie. Ces agents extérieurs nécessaires pour l'existence de la vie des végétaux sont : 1° une température déterminée ou dans certaines limites; 2° l'eau; 3° l'air atmosphérique et la lumière, considérés comme moyens de respiration végétale. Tous les autres agents extérieurs tendent, par leur influence, à diminuer, à suspendre ou à abolir la force vitale qui opère la circulation, force dont l'agent invisible réagit contre l'influence nuisible. Cette force s'accroît d'énergie sous l'influence

même des causes qui tendent à l'abolir, et cela jusqu'à ce qu'elle se trouve *en équilibre* avec l'influence de l'agent extérieur. L'influence de ce dernier est une force antagoniste de la force vitale à laquelle est due la circulation du Chara, puisqu'elle tend à abolir cette circulation : or, la force vitale dont il est ici question, reprenant son énergie sous l'influence continuée d'une force extérieure qui d'abord l'avait opprimée, cela prouve clairement que cette force vitale a éprouvé un changement au moyen duquel elle s'est mise, comme je viens de le dire, *en équilibre* ou *en rapport d'égalité* avec la force extérieure qui est *en présence*. Cet *équilibre* est la condition nécessaire de l'existence normale de la force vitale dont il s'agit. Si la force extérieure *en présence* augmente, la force vitale diminue d'abord, et, réagissant spontanément ensuite, elle rétablit l'*équilibre* rompu : si la force extérieure *en présence* diminue, la force vitale diminue d'abord et réagit ensuite pour rétablir de même l'*équilibre* rompu. Ainsi la force vitale qui produit la circulation du Chara n'augmente point et ne diminue point selon que la force extérieure *en présence* augmente ou diminue ; elle éprouve toujours une diminution directe par l'effet de tout changement soit en plus, soit en moins, qui survient dans l'intensité de la force extérieure avec laquelle elle se remet ensuite et spontanément *en équilibre*, en sorte qu'elle annulle ainsi son influence. Le mécanisme de ces actions physiques et physiologiques est à coup sûr fort incompréhensible : il faut donc, dans l'état actuel de nos connaissances, prendre ces phénomènes tels qu'ils sont donnés par l'observation, sans chercher à les expliquer.

Ainsi la réaction par laquelle la force vitale du Chara combat l'influence des agents extérieurs nuisibles, a pour ef-

fet l'établissement d'un *équilibre;* or, cet *équilibre* peut être *permanent* ou *temporaire.* Je vais rendre ceci facile à comprendre par un exemple. J'ai fait voir plus haut que le sel marin ajouté à l'eau agit d'une manière nuisible sur la circulation du Chara, et que cette circulation, d'abord diminuée par cet agent extérieur, reprend ensuite sa vitesse normale par l'effet de la réaction; l'équilibre s'établit alors entre l'agent extérieur et la force vitale d'abord opprimée. Si la proportion du sel marin dans l'eau est un peu forte, l'*équilibre* établi par la réaction maintient seulement pendant un certain temps la circulation et la vie du Chara; l'une et l'autre finissent à la longue par s'éteindre, l'*équilibre* établi par la réaction n'a été que *temporaire.* Si, au contraire, la proportion du sel marin dans l'eau est assez faible, l'équilibre établi par la réaction maintient indéfiniment la circulation et la vie du Chara : ainsi cet *équilibre* est *permanent.* C'est ainsi que l'on voit des Chara vivre et croître dans des marais saumâtres voisins des bords de la mer. L'*équilibre permanent* dont il est ici question est le phénomène que l'on désigne généralement par le nom vulgaire et bien impropre d'*habitude* (1). Le Chara *habitué* à l'eau légèrement salée, y parcourt

(1) Le mot *habitude* devrait être banni de la science physiologique, car il sert fort mal à propos à désigner deux phénomènes qui n'ont aucun rapport. Le premier de ces phénomènes est la tendance que possède l'économie vivante à se modifier sous l'influence des agents extérieurs, de manière à annuler cette influence lorsqu'elle est longtemps continuée, ou simplement à la diminuer lorsque cette même influence agit souvent et par intervalles. Cette modification de l'économie vivante consiste dans l'établissement d'un *équilibre* entre une puissance extérieure et une puissance intérieure et vitale. En vertu de cet *équilibre*, il n'y a plus

toutes les périodes de sa vie, comme il le fait dans l'eau douce. Mais cette plante ne peut s'*habituer* à l'eau qui est salée dans une plus forte proportion; et cependant sa force vitale a réagi d'abord contre l'influence nuisible du sel, et il

---

d'action de l'agent extérieur sur les organes vivants. Ceux-ci résistent alors à l'influence de l'agent extérieur avec une force égale à celle avec laquelle ce même agent extérieur agit sur eux. Cet *équilibre* subsiste tant que l'agent extérieur ne change d'énergie ni en plus ni en moins; car, ce changement arrivant, l'économie vivante serait influencée de nouveau, et tendrait, par cela même, à établir un nouvel *équilibre*.

Le second des phénomènes, que l'on désigne sous le nom d'*habitude*, est la tendance que possède l'économie vivante à conserver un *lien d'association* entre ceux de ces phénomènes qui se sont trouvés plusieurs fois associés, même accidentellement. C'est ainsi qu'il s'établit un *lien d'association* entre des mouvements musculaires très-divers, dans les différents exercices ou les différents arts auxquels nous nous livrons journellement; en sorte que ce *lien d'association* rend plus facile l'exécution simultanée ou successive de ces divers mouvements musculaires. Souvent ce sont des sensations qui se trouvent ainsi associées à des mouvements; en sorte que, la sensation venant accidentellement à se renouveler, elle entraîne l'exécution des mouvements musculaires auxquels elle avait été précédemment plusieurs fois associée. On en peut dire autant des *actions intellectuelles* ou des pensées qui s'enchaînent les unes aux autres par ce *lien d'association*, qui fait tout le mécanisme de ce que l'on nomme la *mémoire*. Ainsi toutes les actions vitales tendent à s'unir, soit entre elles, soit avec des sensations par un *lien d'association*, lorsque leur concomitance ou leur succession se réitèrent fréquemment. Il est bien facile de voir que ce *phénomène d'association* n'a aucun rapport avec le *phénomène d'équilibre*, qui est si mal à propos confondu avec lui sous le nom vulgaire d'*habitude*. Il n'y a de commun entre ces deux phénomènes que la *fréquente réitération*, qui est la cause occasionnelle de l'un et de l'autre. C'est de là qu'est venue leur confusion, que les physiologistes devraient se hâter de faire disparaître.

est résulté de cette réaction l'établissement d'un *équilibre* entre la force vitale et l'influence de l'agent extérieur, *équilibre* au moyen duquel la circulation et la vie du Chara ont subsisté pendant un temps plus ou moins long; mais à la fin la force vitale a cédé, vaincue par l'influence continuée de l'agent extérieur, et la plante qui n'a pu s'*habituer* à cet agent extérieur a cessé de vivre; l'*équilibre* établi par sa réaction vitale n'était ainsi que *temporaire ;* il devait cesser, détruit par l'influence continuée de l'agent extérieur trop énergique. La plante était donc alors dans un véritable état de maladie: son *équilibre temporaire* était le résultat d'une *réaction morbide*, semblable par sa nature à la *réaction hygiénique* qui produit l'*équilibre permanent* désigné vulgairement sous le nom d'*habitude*, mais différente de cette même *réaction hygiénique* par l'impuissance où elle est de subsister indéfiniment. C'est ainsi que sous l'influence continuée de faibles doses d'un poison, un homme pourra vivre *habitué* à ces doses d'un agent nuisible; mais si les doses de ce poison excèdent les limites dans lesquelles peut exister l'*équilibre permanent* entre les forces de la vie et l'influence de cet agent extérieur nuisible, ou, en d'autres termes, si l'*habitude* ne peut s'établir ici, la vie finira par s'éteindre, après avoir résisté plus ou moins longtemps, au moyen de la *réaction morbide* qui établit un *équilibre temporaire* entre les forces de la vie et l'agent extérieur qui doit les anéantir par le fait de la trop longue durée de son énergique influence.

Ces rapprochements nous font voir qu'il existe une similitude fondamentale entre les phénomènes de la vie des végétaux et les phénomènes de la vie des animaux. Il paraît donc possible de se fonder sur l'observation du mode d'action des

agents extérieurs sur le Chara, pour en déduire la détermination de la manière dont ces mêmes agents extérieurs agissent sur les animaux. Ainsi se trouverait résolu, en partie, le problème tant et si vainement cherché, touchant le mode d'influence des agents du dehors sur des êtres vivants considérés en général. Combien de dissentiments entre les physiologistes sur la propriété ou *stimulante* ou *sédative* de certaines substances, de l'*opium* par exemple! On voit le froid et la chaleur produire chacun des effets d'excitation et des effets de sédation; tous les deux fortifient ou affaiblissent suivant les circonstances. Pour l'explication de ces phénomènes, un libre champ a été ouvert aux théories des physiologistes, qui, ne voyant pas ce qui se passait dans les organes, et ne jugeant que par l'observation des phénomènes extérieurs, n'ont pu parvenir, sur ce point, à la connaissance de la vérité. Une plante transparente, et dont les mouvements vitaux intérieurs sont visiblement influencés par les agents du dehors, le Chara, vient jeter un jour nouveau et inattendu sur la manière dont s'opère l'influence des agents extérieurs sur l'être vivant. Il résulte des observations que j'ai faites sur cette plante, que tous ceux des agents extérieurs qui ne sont pas nécessaires pour l'existence de la vie, sont, pour elle, des *sédatifs directs;* ils ne stimulent que par la réaction vitale qu'ils provoquent. La chaleur, restreinte dans les limites de la température la plus favorable au maintien de la vie, seule est un *excitant direct* pour le Chara, et son effet excitant croît avec son élévation. Au delà comme en deçà de ces limites, la température n'agit plus directement que comme cause sédative; elle ne stimule plus qu'indirectement, c'est-à-dire par réaction. Tous les agents chimiques sont pour le

Chara des *sédatifs directs* plus ou moins puissants : les alcalis l'emportent à cet égard sur les acides, et l'opium l'emporte sur les alcalis. La réaction seule rend ces substances stimulantes : elles sont donc toutes des *stimulants indirects*. Les agents mécaniques et les lésions organiques agissent aussi sur le Chara comme *sédatifs directs*, et ensuite comme stimulants par réaction. Peut-on user ici de l'induction de l'analogie pour appliquer aux animaux ces résultats de l'expérience faite sur une plante? J'avoue que je suis très-porté à le penser. On devrait admettre, d'après cette manière de voir, que les substances qui ont été considérées comme *stimulantes* ou *excitantes* pour les animaux, sont celles qui n'opèrent qu'une sédation trop faible et de trop courte durée pour pouvoir être aperçue, sédation qui est promptement suivie par la réaction vitale. Par contre, les substances que l'on a considérées comme essentiellement sédatives pour les animaux, seraient celles qui, à des doses déterminées, produisent une sédation forte et prolongée, laquelle n'est suivie que d'une faible réaction vitale. On conçoit fort bien, d'après cela, comment la même substance, suivant la dose à laquelle elle est employée, peut donner lieu à la prédomination de la *sédation directe,* qui est son effet primitif, sur l'*excitation indirecte*, qui est son effet secondaire, ou bien à la prédomination de cette dernière sur la première.

C'est la première fois que les phénomènes de la réaction vitale, depuis longtemps connus chez les animaux, se présentent à l'observation dans le règne végétal. Cependant quelques observations avaient déjà fait voir les phénomènes de l'*habitude* chez certains végétaux, mais on ne pouvait savoir alors que l'*habitude* est le résultat d'une *réaction permanente;*

quant à la *réaction morbide* ou *temporaire,* on ignorait entièrement son existence chez les végétaux.

C'est à coup sûr un phénomène bien incompréhensible, dans l'état actuel de nos connaissances, que celui de cette tendance des forces qui président à la vie, à se mettre *en équilibre* avec l'influence que les agents extérieurs exercent sur elles; étant affaiblies par tout changement, soit en plus, soit en moins, qui survient dans l'influence des agents extérieurs, après que son *équilibre* avec cette influence a été bien établi, et réagissant ensuite pour établir un nouvel *équilibre* indispensable pour l'existence normale du mouvement vital.

M. Amici a émis l'idée que les séries de globules verts du Chara sont autant de piles voltaïques en action, en sorte que le mouvement de progression du liquide qui les touche serait dû à une impulsion électrique.

Pour savoir si cette hypothèse est fondée, il fallait étudier l'action de l'électricité voltaïque sur la circulation du Chara; pour cet effet, j'ai réclamé le concours et la collaboration de mon honorable collègue M. Becquerel, si connu du monde savant par ses beaux travaux sur l'électricité. (*Voyez le mémoire suivant.*)

EXPLICATION DES FIGURES.

Fig. 1. *a. g.* Mérithalle du *Chara fragilis*, considérablement grossi sans être allongé dans la même proportion; — *b. b. b. b.* feuilles verticillées; — *p. p. p.* rudiments de spinules dispersés sur le mérithalle; — *m. m.* rudiments de spinules rangés sur deux lignes circulaires au sommet de chaque mérithalle; — *o. o. o.* tubes fibreux correspondant chacun par sa base et par son sommet à un rudiment de spinule : ces tubes fibreux sont les seuls dans lesquels on voit une circulation; — *c.* racine adventive simple; — *d.* racine ramifiée; — les ramifications *f. f.* partent de l'extrémité renflée *i.* de la racine *d.*

Fig. 2. Coupe transversale de la tige de *Chara fragilis : a.* tube externe dans lequel on voit les ouvertures des tubes fibreux; — *b.* tube interne doublé intérieurement par les globules verts *c.*

Fig. 3. Tube interne du Chara dépouillé de son tube externe et au travers duquel on voit les séries de globules verts que suit, dans l'intérieur du tube, le liquide qui circule, montant en spirale par la spire *b. b.* et descendant par la spire *c. c.* Ces deux spires sont séparées par des espaces transparents *a. a.*, *a. a.*, *a. a.* nommés *lignes de repos.*

Fig. 4. Portion de tube interne de Chara où l'on voit la spire *n.*, dans laquelle s'opère l'ascension du liquide circulant, offrir une interruption considérable *b.* dans la continuité de ses séries de globules verts. Le courant ascendant s'arrête dans cet endroit, et il se réfléchit vers le courant descendant qui suit la spire *m.*, suivant la direction *i. o.*

Fig. 5. Coupe transversale d'un mérithalle du *Nitella flexilis* d'après

Slack : — *a. b. à. e.* tube externe à l'intérieur duquel sont les séries de globules verts ; — *a. c. à. f.* tube interne ; — *d.* cavité de ce dernier.

Fig. 6. Portion de tube interne de Chara. Dans le milieu de la ligne de repos *r. r.*, une série de globules verts *c. d.*, détachée du côté *a.*, affecté au courant descendant, s'est roulée en spirale.

Fig. 7. Répétition de la figure précédente, dans laquelle on voit que la série de globules verts *c. d.*, placée accidentellement dans le milieu de la ligne de repos *r. r.*, a quitté sa disposition en spirale et s'est étendue en ligne droite. Un petit globule flottant *i.* se meut suivant la direction *c. d.* de cette ligne.

Fig. 8. Même figure, dans laquelle on voit la série de globules verts *c. d.* se reployer en *o.* et tendre à se retourner bout pour bout, en marchant suivant la direction des deux petites flèches qui sont auprès d'elle.

Fig. 9. Même figure, dans laquelle on voit la série de globules verts *c. d.* complétement retournée bout pour bout et appliquée contre la plus extérieure des séries de globules verts appartenant au côté *a.*, affecté au courant descendant.

Fig. 10. Ligature opérée sur un tube interne de Chara dénudé. Les deux circulations distinctes qui se sont établies des deux côtés de la ligature n'amènent point le liquide circulant jusqu'auprès de cette ligature. Ce liquide se réfléchit de chaque côté à une certaine distance, ainsi que l'indiquent les flèches.

Fig. 11. Portion de tube interne de Chara, dans lequel on voit que les séries de globules verts se sont fléchies sinueusement et d'une manière irrégulière.

INFLUENCE DE L'ÉLECTRICITÉ

SUR LA

CIRCULATION DU CHARA,

PAR MM. BECQUEREL ET DUTROCHET (1).

L'observateur qui est témoin pour la première fois du mouvement circulatoire des globules de la lymphe dans le Chara, est porté à l'attribuer à l'électricité. En effet, ces globules, dirigés de bas en haut, redescendent dès l'instant qu'ils rencontrent un nœud ou une ligature qui s'oppose à leur mouvement, pour remonter, et ainsi de suite, d'où résulte un mouvement rotatoire qui a de l'analogie avec celui de l'électricité dans un circuit fermé. Si l'on examine

(1) La rédaction de ce mémoire appartient à M. Becquerel.

la constitution du nœud, on y trouve un diaphragme qui arrête les globules et les force à redescendre. Les stries parallèles de globules verts situés à la paroi interne du tube central du Chara paraissent avoir une grande influence sur le mouvement de la lymphe, puisqu'il s'exerce uniquement selon la direction de ces mêmes stries.

On a considéré les globules verts comme des couples voltaïques, et leurs séries comme des piles ; mais cette hypothèse ne repose sur aucun autre fait que le mouvement rotatoire dont nous venons de parler.

Nos connaissances en électricité sont tellement avancées aujourd'hui, que l'on a des moyens directs de s'assurer si un phénomène de mouvement dépend immédiatement ou non de l'électricité. Le physiologiste et le physicien doivent donc se réunir pour discuter ensemble toutes les questions de cette nature qui concernent les phénomènes de la vie. Guidés par cette manière de voir, nous avons étudié, M. Dutrochet et moi, le mouvement de la lymphe dans le Chara, afin de savoir si l'on devait lui attribuer ou non une origine électrique.

La chaleur et l'électricité dérivant du même principe, suivant toutes les apparences, et manifestant souvent leur action en même temps, nous devons rappeler d'abord en peu de mots le genre d'influence que la chaleur exerce sur le phénomène du Chara, afin de présenter dans le même cadre les faits généraux relatifs au mode d'action de ces deux principes.

Suivant les observations de l'un de nous, la circulation du Chara est très-lente à zéro ; elle s'accélère à mesure que la température monte et devient très-rapide à + 18 ou 19 degrés C. ; elle diminue ensuite, et à + 27 elle est extrêmement ralentie.

Sous cette même influence, sa vitesse augmente peu à peu, et deux heures après elle possède une grande rapidité.

Si l'on continue à élever la température d'abord jusqu'à 34°, et ensuite jusqu'à 40, on observe des effets semblables, c'est-à-dire que la plante, après avoir éprouvé une diminution dans la vitesse de la circulation, reprend peu à peu cette vitesse. Ce n'est qu'à 45° que le mouvement rotatoire s'arrête pour ne plus reparaître.

Toutes les fois que la plante éprouve un changement brusque de température de 25° environ, le mouvement rotatoire s'arrête complétement et reprend quelque temps après.

En général, l'abaissement de la température diminue la vitesse de la circulation, tandis que l'élévation de la température, quand elle ne dépasse pas certaines limites, l'augmente; au delà il y a ralentissement dans la vitesse.

Le froid tend bien à ralentir la circulation, mais la réaction vitale redonne à cette circulation une vitesse qui n'est pas aussi grande, à la vérité, que celle qu'elle acquiert sous l'influence de la réaction contre l'élévation de la température.

Nous allons montrer actuellement que l'électricité produit des effets qui ont de l'analogie avec les précédents, mais qui en diffèrent cependant sous certains rapports. Les expériences ont été faites avec un microscope d'un grossissement moyen. La tige du Chara, dépouillée de sa partie extérieure opaque, a été mise sur un verre légèrement concave, avec une petite quantité d'eau, et ses deux extrémités ont été recouvertes de feuilles très-minces de platine, afin de mieux établir la communication avec deux fils de platine en relation avec les deux pôles d'une pile.

Si le mouvement de la lymphe, qui est dirigé dans le sens

des séries de globules verts, est dû à l'électricité, on doit pouvoir l'accélérer ou le ralentir en soumettant la plante à l'action d'un courant dirigé dans le sens de ces séries. Pour nous en assurer, nous avons placé une tige de Chara dans une hélice dont les circonvolutions, parallèles à ces stries ou séries de globules verts, se trouvaient dans un plan vertical; puis nous avons fait passer dans cette hélice la décharge de piles fortement chargées, composées depuis dix jusqu'à trente éléments, sans apercevoir ni augmentation ni diminution dans la vitesse du mouvement rotatoire du Chara. L'hélice a ensuite été placée de manière que ses circonvolutions étaient perpendiculaires aux stries et se trouvaient toujours dans un plan vertical. Le courant électrique, quelle qu'ait été sa direction, n'a exercé aucune influence sur le mouvement rotatoire du Chara. La direction des circonvolutions a été changée de nouveau, et l'on a eu constamment des résultats négatifs. Il paraîtrait donc que le mouvement rotatoire n'est pas dû à l'électricité; on doit, suivant toutes les apparences, l'attribuer à une force particulière dont la nature nous est tout à fait inconnue.

L'action des courants par influence ne nous ayant rien appris, il ne restait plus qu'à transmettre le courant électrique à travers la tige même du Chara. Or, quand l'électricité traverse les corps, elle y produit des actions chimiques ou des effets physiques qui sont accompagnés d'effets calorifiques. Nous n'avons eu égard, dans nos expériences, qu'aux effets physiques.

Première expérience.— Une tige de Chara ayant été placée avec un peu d'eau ordinaire sur une lame de verre concave,

on a fait passer dans cette tige, tantôt de haut en bas et tantôt de bas en haut, le courant provenant d'un certain nombre de couples d'une pile chargée depuis deux jours avec de l'eau renfermant un centième de son poids de sel marin. On a employé successivement un, deux, trois couples; au troisième couple, le mouvement rotatoire a été arrêté subitement. Le courant électrique ayant été interrompu pendant quelques minutes, le mouvement rotatoire a repris sa vitesse primitive. L'expérience ayant été recommencée, il a fallu cinq couples pour arrêter le mouvement.

Deuxième expérience. — On a fait passer le courant de manière que le pôle positif fût mis en communication avec le haut de la tige; le mouvement rotatoire a été arrêté en employant deux couples. Après quelques instants d'interruption, il n'a pas tardé à recommencer; il a fallu alors six couples pour l'arrêter.

Troisième expérience. — On a opéré avec une autre tige dans laquelle le mouvement des globules était très-actif. On a pu alors augmenter la force de la pile depuis un, deux, trois, jusqu'à vingt couples, sans apercevoir de diminution dans la vitesse. En passant de vingt à trente couples, le mouvement s'est arrêté subitement.

Quatrième expérience. — On a recommencé les mêmes séries d'observations avec une pile chargée seulement avec de l'eau de Seine, afin d'avoir un courant faible qui ne fût pas capable de réagir chimiquement d'une manière sensible sur les parties constituantes de la plante. Le pôle négatif corres-

pondait au haut de la tige; il a fallu neuf couples pour arrêter le mouvement rotatoire. La direction du courant ayant été changée, le mouvement rotatoire a été arrêté avec cinq couples; alors, au lieu d'interrompre le circuit, comme dans les expériences précédentes, on a continué à laisser cheminer le courant électrique dans le Chara; le mouvement a recommencé au bout d'une minute avec une vitesse successivement croissante. Cinq minutes s'étant écoulées, on a ajouté trois couples les uns après les autres; au troisième couple le mouvement rotatoire a été interrompu, mais il a recommencé au bout d'une minute; cinq minutes après, on a augmenté successivement de cinq couples le circuit, et au cinquième le mouvement a été arrêté net, puis il a recommencé au bout d'une minute. Cinq minutes après, on a pu ajouter quatorze couples au courant sans suspendre le mouvement rotatoire immédiatement; mais il s'est arrêté au bout d'une minute, et n'a repris qu'après un intervalle de plusieurs heures, quand il n'a plus été sous l'influence du courant.

Cinquième expérience. — En soumettant à la même expérience un Chara dont le mouvement rotatoire était très-actif, le pôle positif étant en rapport avec la base de la plante, le mouvement a été arrêté à quinze couples, et a repris au bout d'une minute d'influence; quatre minutes après, on a ajouté successivement un, deux, trois, jusqu'à quarante couples, et le mouvement a été arrêté au quarantième; il a repris au bout de cinq minutes d'influence. On a augmenté ensuite le nombre des couples jusqu'à cinquante-cinq, et le mouvement rotatoire s'est arrêté quelques minutes après; il a repris ensuite au bout de deux minutes.

Sixième expérience. — On a employé une pile qui n'avait pas servi depuis longtemps, et dont la surface des couples n'était point, par conséquent, décapée; on l'a chargée avec de l'eau de Seine, afin que la réaction de ce liquide sur le zinc fût très-faible. Voici les résultats que l'on a obtenus avec un Chara dont le mouvement rotatoire était rapide : on a fait passer successivement dans la tige la décharge de un, deux, trois, jusqu'à soixante couples; le courant électrique persistant, le mouvement rotatoire s'est arrêté une minute après, et n'a pas tardé à reprendre; quand il a été bien rétabli, on a rétrogradé successivement d'un couple jusqu'au dix-huitième couple; alors le mouvement s'est arrêté, et a repris une minute après.

L'eau de la pile ayant été enlevée, on a chargé celle-ci avec de l'eau renfermant environ un cinquantième de son poids d'une solution saturée de sel marin et quelques gouttes d'acide sulfurique. Avec la même tige de Chara, le mouvement a été arrêté à un couple, et s'est rétabli quelques instants après.

Nous avons fait beaucoup d'autres expériences qui ont conduit, comme les précédentes, aux conséquences suivantes : 1° l'électricité qui traverse la tige du Chara tend à produire, dans les premiers instants, un engourdissement dont l'intensité dépend de la force du courant; 2° le courant électrique agit en même temps et également sur le mouvement ascendant et sur le mouvement descendant; 3° le sens du courant électrique ne paraît établir aucune différence dans son mode d'action; 4° si le courant provient d'une pile chargée avec de l'eau, il faut employer un certain nombre de couples pour arrêter le mouvement rotatoire; quelques instants

après, il recommence peu à peu sous l'influence du courant électrique, et finit par acquérir la vitesse qu'il avait primitivement. En augmentant le nombre des couples, il y a un nouvel arrêt, et ensuite, reprise du mouvement; ainsi de suite jusqu'à ce que le courant électrique ait assez d'intensité pour arrêter le mouvement rotatoire pendant quelques heures. En rétrogradant, c'est-à-dire, en diminuant successivement le nombre des couples, on retrouve encore des arrêts et des reprises du mouvement rotatoire. Le passage de l'électricité ne produit aucune désorganisation, puisqu'un repos plus ou moins long rend à la plante ses facultés naturelles.

En expérimentant avec une pile chargée avec un liquide actif et un bon conducteur, on observe des effets semblables, si ce n'est qu'il ne faut employer qu'un petit nombre de couples pour les obtenir.

Comparons ces effets avec ceux qui sont produits par la chaleur, puisque le courant électrique, en traversant la tige du Chara, a dû élever sa température. A partir de zéro, la circulation du Chara s'accélère à mesure que la température monte; à 18° ou 19°, elle est très-rapide; elle diminue ensuite jusqu'à 27°, où elle est très-ralentie, puis sa vitesse augmente, et ainsi de suite jusqu'à 45°, où tout mouvement cesse pour ne plus reparaître; la plante éprouve alors une désorganisation qui détruit le mouvement rotatoire des globules.

L'électricité produit constamment sur le Chara des alternatives semblables, c'est-à-dire, des arrêts et des reprises de mouvement, même quand on emploie des courants de faible intensité. Mais nous n'avons jamais observé une accélération dans la circulation comme en produit la chaleur. C'est en

cela que consiste la différence que nous avons trouvée entre le mode d'action de l'électricité et celui de la chaleur.

Voici maintenant comment on peut interpréter le mode d'action de l'électricité. Lorsqu'un courant électrique traverse un corps quelconque, il commence par faire perdre à ses molécules leur position naturelle d'équilibre, d'où résulte ordinairement un dégagement de chaleur, et, dans quelques cas particuliers, un abaissement de température. Si l'intensité de ce courant est suffisante, les molécules sont séparées et même décomposées; si elle est trop faible pour produire ces derniers effets, les molécules reprennent peu à peu leur position primitive, aussitôt que l'action du courant a cessé. C'est alors que les propriétés physiques du corps redeviennent ce qu'elles étaient avant que le courant électrique l'eût traversé; mais ce qu'il y a de particulier dans le Chara, et ce que nous signalons à l'attention des physiologistes, c'est qu'après que le courant a produit les effets physiques ci-dessus mentionnés, lesquels sont accompagnés d'une action engourdissante, les forces qui produisent la circulation, et dont la nature est inconnue, font un effort pour lutter avec assez d'avantage contre la force électrique, afin que les molécules organiques, quoique dérangées de leur position naturelle d'équilibre, recouvrent leurs propriétés primitives. L'action qui détermine le mouvement rotatoire l'emportant sur l'action électrique, celle-ci continue à agir sans troubler ce mouvement. Cette lutte cesse quand le courant électrique possède une intensité suffisante; les forces vitales, alors épuisées momentanément, reprennent leurs facultés après un certain temps de repos, une fois qu'elles ne sont plus soumises à l'action de l'électricité.

Si l'on compare les effets que nous venons de décrire à ceux qui sont produits par la chaleur, nous trouvons des différences notables qui nous mettent à même de conclure que le courant électrique agit ici d'une manière particulière.

On doit voir que, dans les recherches dont nous venons de rendre compte, nous avons suivi une marche philosophique pour arriver à la connaissance de la force qui produit la circulation de la lymphe dans le Chara; nous l'avons mise en présence d'autres forces dont les effets étaient bien définis, afin de connaître les rapports qui existent entre elles. De la comparaison des effets observés, nous avons conclu que les forces qui produisent le mouvement rotatoire ne peuvent être rapportées, suivant toutes les apparences, à l'électricité, qui agit ici d'une manière particulière dont nous n'avons pas encore eu d'exemple dans l'étude que nous avons faite des propriétés physiques et chimiques de cet agent.

CONSIDÉRATIONS

SUR LES PROGRÈS

DE L'ÉDUCATION DES VERS A SOIE,

DEPUIS LE COMMENCEMENT DU SIÈCLE.

PAR M. LE COMTE DE GASPARIN;

Pour être lues à la séance publique des cinq Académies, le lundi 3 mai 1841.

Dès les temps les plus anciens, la soie a été regardée comme la matière la plus précieuse qui pût servir aux vêtements; sa légèreté, sa souplesse, la beauté et le reflet des couleurs qu'on lui associe, ne sont égalés par aucune autre. Vendue au poids de l'or, apportée des mystérieuses profondeurs de l'Orient, en passant par un grand nombre de mains qui faisaient perdre la trace de son origine et de sa nature, elle fut longtemps une énigme indéchiffrable pour l'Occident, autant qu'un objet de convoitise pour les nations qui la payaient si chèrement. On sait comment, apporté enfin à Constantinople, ce secret se divulgua en Europe, passa de la Grèce en Italie, puis en France, et comment, après de grands efforts pour la naturaliser au nord de la Loire, cette riche

industrie semblait s'être fixée dans nos provinces méridionales; je ne reviendrai pas sur ce que j'en ai dit ailleurs, et dans le cadre étroit qui m'est assigné, je me bornerai à décrire, non les progrès statistiques de la richesse qu'elle produit, mais ceux de l'art en lui-même, de ses procédés techniques; et réservant pour un autre moment sa partie agricole et manufacturière, c'est de sa partie zootechnique seule, des progrès remarquables qu'a faits l'art d'élever les vers à soie, depuis le commencement du siècle, que je me propose de vous entretenir. C'est dans cette époque si grande par ses souvenirs historiques, que ses efforts industriels balanceront peut-être aux yeux de l'avenir, qu'après être resté longtemps stationnaire, cet art a repris une marche ascendante dont je veux retracer l'origine et la tendance.

A la fin du dernier siècle, la production de la soie était dans une décadence complète sur notre continent. Notre révolution avait détruit ou altéré les grandes fortunes, et ceux qui avaient conservé de l'aisance n'osaient encore en revêtir les dehors. Le niveau avait passé sur tout, mais l'égalité régnait principalement dans les costumes. Lyon était tombé, et avec lui nos belles fabriques de soieries. Le midi laissait dépérir ses mûriers, dont les récoltes ne payaient plus les peines des cultivateurs; l'Italie avait perdu un de ses grands débouchés en perdant le marché de la France, et la guerre achevait ce que n'avait pas détruit la tourmente révolutionnaire. Napoléon, en restaurant l'ordre social, chercha aussi à rétablir l'industrie. Nos fabriques de soieries sortirent de leurs cendres, et tout semblait leur promettre des jours heureux, quand la rupture de la paix d'Amiens, et ensuite le blocus continental, les privèrent d'une partie importante du marché

extérieur, mais surtout leur créèrent une concurrence dont il faut rappeler la mémoire. La rareté des belles étoffes de coton les mit alors à la mode. La belle mousseline obtint la préférence sur les plus riches étoffes de soie. Malgré les efforts de la contrebande, protégées par des lois prohibitives exécutées avec rigueur, des fabriques s'élevèrent de toutes parts en France pour filer le coton, pour le tisser, pour le préparer; mais le haut prix de la matière première maintint leurs produits à des prix excessifs, et la mode, qui préfère souvent la rareté à la beauté et à la grâce, abandonna chaque jour davantage la soie indigène pour son rival étranger. C'est en vain que l'empereur encourageait, par ses paroles, les dames de sa cour à revenir à l'usage de la soie, et à donner l'exemple à la ville; ce n'était plus du palais que la France recevait ses modèles, et la cour elle-même, si soumise sur tout le reste, se hâtait de dépouiller, aux yeux de la ville, l'habit officiel des grandes réceptions.

Ce prestige finit en 1815, et quand les mers furent libres, les étoffes de coton perdirent leur prix d'imagination avec leur prix vénal, tandis que la soie, dont une immense exportation avait doublé la valeur, reprit toute la faveur qu'elle méritait à si juste titre. C'est de cette époque que datent les nouveaux progrès dont j'ai à vous entretenir.

Quel était alors l'état de l'art? Pour s'en faire une juste idée, quelques développements préliminaires sont indispensables. Sans doute le choix des espèces de mûriers, leur plantation, leur conduite, leur taille sont des points de la plus haute importance; mais l'homme qui entreprend pour la première fois leur culture, se trouve guidé par son habitude de soigner d'autres arbres, et il a bientôt saisi les analogies et

les différences qui doivent le diriger. Il en est tout autrement de l'industrie des vers à soie. Un seul insecte, l'abeille, était soumis au domaine de l'homme, et l'abeille n'exigeait de lui d'autre service que celui d'être pourvue d'une habitation; sa vie mystérieuse y était renfermée, il a fallu de persévérantes observations pour en dévoiler les circonstances; le ver à soie, au contraire, exigeait des soins continus de chaque jour; il fallait recueillir et lui distribuer sa nourriture, le maintenir dans une atmosphère qui lui convînt, le suivre avec sollicitude dans toutes les phases de sa vie, approprier à chacune d'elles les soins qu'elles exigent, et chaque erreur pouvait être punie par un non-succès.

Mais aussi, plus on a fait de progrès dans l'étude des besoins de cet insecte, plus on a su distinguer l'hygiène qui lui convient, et plus les succès ont été satisfaisants, et plus l'industrie a été profitable à ceux qui s'y sont livrés. Il est plus curieux qu'utile de savoir que le ver à soie, soumis à une congélation complète, résiste à cette dure épreuve, mais il était utile de savoir que c'est à 12°,50 centigrades de température moyenne que le travail d'organisation se développe dans l'œuf pendant toute sa vie fœtale, ce qu'a constaté récemment M. Hérold (1); que cette même température, qui est celle nécessaire à la végétation du mûrier, est la plus basse à laquelle il commence à manger, mais que si on la maintient constamment pendant toute sa vie, elle laisse périr les $\frac{4}{5}$ des vers; qu'à 17°,50 il y a une perte des $\frac{2}{3}$, et qu'enfin c'est de 22 à 25 degrés que l'on obtient des vers robustes, faisant des

(1) Mauritii Heroldi, *Disquisitiones de animalium vertebris carentium in ovo formatione.* Francfort-sur-Mein, 1838.

cocons riches en soie. Ces recherches de Dandolo nous donnent la limite inférieure; M. Camille Beauvais a, de nos jours, fixé la limite supérieure à 50 degrés, à laquelle ils cessent de s'alimenter.

On voit que la Providence, en donnant à l'existence de cet insecte une aussi large échelle de température, avait pourvu à la conservation de l'espèce, quand à l'état sauvage, exposée aux intempéries de l'air, elle avait à supporter des variations diurnes qui parcourent une partie de cette échelle dans les climats les plus chauds comme dans les plus tempérés. Aussi, le ver à soie vit partout, hors de la zone glaciale, abandonné à la simple chaleur de l'atmosphère. Dans les années où les variations sont peu considérables, on cite des succès nombreux obtenus sous de simples hangars, et sans aucune précaution.

L'observation nous a prouvé aussi que le ver à soie ne craint pas un air humide. On l'a fait vivre dans une atmosphère presque saturée; on l'a nourri de feuilles constamment mouillées; cette expérience a été faite cette année par M. Robinet. Mais il supporte aussi un air très-sec, quoiqu'il y vive moins à l'aise. C'est dire assez qu'il réussirait parfaitement à l'air libre, en le préservant de l'attaque des rats, des oiseaux, des fourmis qui en sont très-avides.

Après ce que nous venons de dire de ce que l'on pourrait appeler la rusticité de cet insecte, ne semble-t-il pas un peu ridicule de parler des difficultés de son éducation ? Peut-on ne pas être étonné d'apprendre que, depuis tant de siècles que l'on s'en occupe, on soit encore assez retardé pour qu'il y ait une différence de 1 à 3 entre le produit recueilli par la masse des éducateurs et celui qu'on obtient par des procédés

perfectionnés? Pour le faire comprendre, et pour faire saisir aussi la marche des progrès qui ont été faits jusqu'ici, il suffira de quelques mots.

Quand le ver à soie se trouve dans l'état de nature, que le papillon, ayant déposé ses œufs autour d'un rameau, les jeunes insectes qui en sortent atteignent les feuilles qui le garnissent, la nature n'a nullement songé à proportionner leur nombre à la quantité de feuilles produites par le mûrier; courant à l'aventure, ils en laissent un grand nombre intactes. Mais l'homme qui cultive un arbre doit chercher à en tirer tout le parti possible; il ne peut donc abandonner l'insecte à ses instincts naturels; il ne peut pas davantage songer à en peupler lui-même le mûrier; outre que, dans son libre parcours, le ver à soie laisserait une partie des branches sans être dépouillées, il lui arriverait tant d'accidents, soit par les attaques de ses ennemis naturels, soit par des chutes, qu'il serait très-difficile d'étendre la surveillance sur une grande plantation, et qu'on a dû renoncer de bonne heure à cette éducation à l'air libre que des esprits systématiques reproduisent de temps en temps comme la perfection. C'est la perfection des nations sauvages, dont les voyageurs nous dépeignent la misère et la dépopulation. Aussi, dès que l'homme a voulu s'approprier cette industrie, son premier pas a été de la mettre à couvert sous le toit de sa demeure.

De nouvelles difficultés l'y attendaient. Dans leur vie des champs, on n'avait pu constater le grand besoin que les vers à soie avaient d'un air pur; il surabondait autour d'eux; mais quand, placés dans d'étroits réduits, entassés sur des tables, au milieu de la feuille qui leur sert de nourriture,

et qui, en se fanant, émet en abondance du gaz acide carbonique; de leurs excréments qui fermentent et vicient l'air, un petit nombre des plus robustes a pu parvenir au terme naturel de son existence; et quand on a pu reconnaître que les récoltes de cocons étaient, toutes choses égales d'ailleurs, en raison de la propreté et de l'aération, il a bien fallu rechercher quels étaient les soins en rapport avec les situations artificielles.

Une autre observation est encore venue modifier la conduite de l'éducation des vers à soie. Pendant les premiers jours de leur vie, la température extérieure était encore fraîche comparativement à celle des habitations, la ventilation s'opérait sans difficulté; mais quand la saison devenant plus chaude, l'air extérieur se mettait en équilibre avec celui de l'intérieur, la ventilation cessait, et c'était cependant le moment où les débris de l'alimentation et les déjections étaient les plus considérables et les plus fermentescibles. Il y avait donc avantage à achever l'éducation avant l'arrivée des grandes chaleurs.

Enfin, il était facile de remarquer que l'appétit de l'insecte était proportionnel à la température dans laquelle il vivait; qu'il consommait plus promptement sa nourriture quand elle s'élevait, et qu'il fallait donc, ou faire varier l'intervalle de ses repas, ou les régler à des intervalles égaux, en maintenant une température égale.

On peut affirmer que tout l'art du magnanier est renfermé dans ces trois principes : entretenir un air pur autour de l'insecte; régler la température qu'il doit éprouver, de manière à devancer l'époque des grandes chaleurs; proportionner la fréquence de ses repas à cette température. Or, ces

principes étaient connus depuis longtemps; nous les trouvons proclamés dans les plus anciens auteurs qui se soient occupés de l'art de la magnanerie, et ce n'est que de leur oubli ou de leur négligence qu'est venu son état de stagnation et même de rétrogradation.

Et c'est peut-être aux habitudes des pays du Midi qui en ont été si longtemps les dépositaires, que l'on doit attribuer le peu de progrès qu'il a fait. Les peuples méridionaux, vivant dans des maisons presque constamment ouvertes, jouissant d'un climat tempéré, pouvant donner ainsi à leurs vers à soie, naturellement et sans peine, l'aération et la chaleur, ont dû se contenter de ces demi-récoltes obtenues sans frais par la vertu du climat, ils les ont regardées comme l'état normal de l'industrie. Les peuples plus septentrionaux ont reçu ces leçons avec l'insecte, mais ils n'y ont persisté qu'à leur grand détriment. Longtemps une récolte de 25 kilogrammes de cocons par 1000 kilogrammes de feuilles de mûrier a été la récolte habituelle du nord de l'Italie; elle l'est encore dans un grand nombre de lieux; dans le midi de la France, beaucoup de pays ne donnent encore que 33 kilogrammes; tandis que les bons éducateurs obtiennent maintenant 60 en moyenne et souvent 80 kilogrammes.

C'est dans nos Cévennes, où existe un peuple industrieux, sous un climat de montagnes, souvent froid, que la routine a d'abord été modifiée. On a cherché à s'y procurer une température plus égale, on a introduit le thermomètre dans la magnanerie, on a balayé plus souvent la litière des vers à soie, enfin on a procuré une certaine ventilation par des feux clairs de cheminée. Tel était l'état de l'art quand, dans le dernier siècle, Sauvage, écrivait son traité, où il se bornait à

réduire en principes et à expliquer scientifiquement la pratique de ses compatriotes.

Cette pratique fut singulièrement améliorée par les travaux de quelques amis, qui ont rempli, pendant un demi-siècle, leur tâche de bons citoyens dans un coin du Dauphiné; société remarquable par tout le bien qu'elle a fait au pays et où MM. Rigaud de Lisle père et fils, M. Blancard, M. Bonnet, M. Freycinet, M. Faujas de Saint-Fond, travaillèrent à l'envi à améliorer la situation du pays. C'est à leurs vues et à leurs instances qu'on doit la construction du pont et le diguement de la Drôme, l'introduction du sainfoin dans la culture; et quant aux vers à soie, M. Rigaud fit construire les magnaneries sur de nouveaux modèles, il les perça d'ouvertures au plancher et au plafond pour y faire circuler l'air. Lisez la description de ces ateliers dans l'*Histoire naturelle du Dauphiné*, de Faujas, et vous trouverez la plupart des améliorations, qui plus tard furent attribuées à Dandolo. Vers 1783, M. Blancard imaginait de se servir de la chaux en poudre pour dessécher les litières des vers, et, sans le savoir, il atteignait aussi dans son germe le fléau de la muscardine.

Dans le commencement de ce siècle, Dandolo, retiré à Varèse, au pied des Alpes de la Lombardie, habitué à l'exactitude scientifique par ses études physiques et chimiques, songea à porter, dans l'éducation des vers à soie, la régularité qui résulte du poids et de la mesure de chaque chose. C'est là le caractère principal de sa réforme. Dandolo n'a guère inventé; ses ouvertures verticales, latérales, son espacement des vers à soie, ses délitements fréquents, le nombre de ses repas, tout se trouve dans ses prédécesseurs; mais rapprocher tous ces principes épars, leur donner la préci-

sion des nombres, en faire une règle de conduite, voilà son vrai mérite ; il a été le codificateur de la magnanerie.

Et dès que son ouvrage parut, il devint populaire en Italie; il le devint aussi en France, par les traductions et les nombreuses publications de notre confrère M. Bonafous. C'est de cette époque que datent les nouveaux efforts et les progrès de l'industrie ; partout périrent les pratiques barbares et les préjugés, et l'on chercha à se rapprocher autant que possible de la législation qui venait d'être promulguée. Le système qu'elle consacrait pourrait se caractériser par la confiance qu'il met dans le volume d'air contenu dans la magnanerie et dans la ventilation spontanée par de nombreuses ouvertures latérales et verticales, enfin, dans l'espacement considérable des vers entre eux. Il est certain que ces précautions suffisent dans le plus grand nombre de cas, et que l'expérience de succès assez constants chez ceux qui suivent ces préceptes, l'avantage de pouvoir les appliquer presque sans frais aux locaux si divers où l'on élève les vers à soie, leur a donné grand crédit. On peut admettre qu'en ce moment c'est la pratique de Dandolo qui domine dans toute la région du mûrier.

Cependant, des désastres assez fréquents avertissaient souvent de son insuffisance. Ainsi, l'on remarquait que l'air, se répartissant par couches de chaleur décroissante de haut en bas, il y avait inégalité dans la marche de l'éducation des vers à soie, dans la durée de leurs périodes et dans leur appétit; selon la place plus élevée ou plus basse qu'ils occupaient, on remarquait que l'irradiation de la chaleur, partant de poêles placés dans l'appartement, se faisait aussi avec inégalité, et que, dans les temps froids, il devenait difficile d'entretenir

une chaleur suffisante dans ses différentes parties, sans une clôture nuisible au renouvellement de l'air ; enfin, il n'était que trop évident qu'à la fin de l'éducation, quand l'air extérieur se met en équilibre de température avec celui de l'atelier, la ventilation s'arrête, ou du moins diminue beaucoup, et ce temps de crise, que l'on connaît sous le nom de *touffe*, sévit comme un véritable *typhus* sur les vers à soie, et détruit quelquefois toute une chambrée.

C'est à notre confrère M. Darcet que nous devons les procédés nouveaux qui, employés, modifiés, contrôlés par des praticiens habiles et instruits, et par leur auteur lui-même, ne tarderont pas à former un ensemble de pratiques qui satisferont à toutes les données du problème mécanique. Il a été conduit à ses recherches par l'existence, auprès de Paris, d'une magnanerie modèle, fondée par M. Camille Beauvais. Cette heureuse circonstance mettait la pratique à côté de la science. M. Beauvais, qui avait dirigé près de Lyon un établissement considérable de magnanerie, en connaissait tous les besoins, toutes les difficultés, il les indiquait et en demandait la solution à la physique. C'était sortir du tâtonnement pour entrer dans la voie rationnelle, et M. Darcet lui était naturellement indiqué comme son véritable auxiliaire, par ses travaux sur la condition des soies, et par ses succès pour rendre salubres les ateliers d'un autre genre. La partie physique du problème était ainsi posée : *se procurer à volonté, dans un atelier, la température que l'on désire ; en renouveler l'air à volonté.* M. Darcet imagina un local fermé de toutes parts, et ne communiquant à l'extérieur, inférieurement, que par une gaîne, placée sur le plancher et percée d'un certain nombre de trous ; supérieurement, par une

semblable gaîne attachée au plafond et percée d'un même nombre de trous. La gaîne inférieure communique avec un calorifère, la gaîne supérieure avec le conduit d'un fourneau d'appel et d'un ventilateur à aubes. L'air chaud et pur entre par le bas, et l'air vicié s'écoule par le haut. La question physique se trouvait ainsi résolue; mais restaient les questions hygiéniques, et elles étaient nombreuses et delicates. C'était aux magnaniers à les résoudre, et elles l'ont été en partie.

Maintenant que l'on pouvait obtenir à volonté le degré de chaleur désirable, restait à déterminer quel serait ce degré de chaleur. Devait-on admettre sur parole la température indiquée par la routine? N'y avait-il pas à essayer si l'on n'obtiendrait pas des succès plus assurés en les modifiant?

On a reconnu que la durée de la vie de la chenille de la soie, depuis son éclosion jusqu'au moment de sa transformation en chrysalide, dépendait de la température dans laquelle elle vivait; qu'elle s'abrégeait ou se prolongeait avec l'élévation ou l'abaissement de cette température. Si l'on additionne les degrés de température moyenne de chaque jour, pendant la durée de cette vie, on trouve que la larve se change en chrysalide après avoir reçu environ 700 degrés centigrades de chaleur. On peut donc faire varier beaucoup cette durée. Ainsi, abandonnez l'insecte à la chaleur naturelle de l'atmosphère du midi de la France, où l'éclosion a lieu moyennement vers le 20 d'avril, il aura une vie de 45 jours, avec une température moyenne de 15 degrés. Poussez la température de l'atelier à 40 degrés, terme extrême des expériences faites jusqu'ici, et vous aurez des cocons après 18 jours; mais de mauvais cocons, produits

d'insectes qui ont vécu constamment dans un état fébrile de surexcitation. A quel point devait-on s'arrêter?

En faisant varier la durée de la vie des vers à soie, nous marchons entre deux écueils. Si nous la prolongeons trop, nous atteignons l'époque des grandes chaleurs et des touffes, où la ventilation devient difficile et quelquefois insuffisante; si nous l'accélérons trop, nous produisons de mauvais cocons, nous consommons une feuille trop jeune, incomplétement développée, et qui, par conséquent, fournit moins de nourriture. Les touffes n'arrivent guère avant le mois de juin; il ne s'agit donc que de régler la durée de l'éducation des vers, d'après l'époque du développement de la feuille du mûrier. Ainsi, supposons la feuille du mûrier, parvenue le 20 avril à cette grandeur que l'on indique comme devant déterminer l'éclosion du ver à soie, on peut retarder l'éclosion jusqu'au 1er mai, pour laisser à la feuille le temps de grandir et faire l'éducation en 30 jours avec 23 degrés de chaleur; que si les bourgeons sont ouverts vers le 5 avril; on retardera l'éclosion des œufs jusqu'à ce que les gelées blanches ne soient plus à craindre, et, en commençant l'éducation vers le 25 d'avril avec 21 degrés de chaleur, on la fait durer 34 jours; que si, au contraire, la feuille n'était prête que le 5 ou le 6 de mai, comme cela arrive quelquefois, on ferait éclore immédiatement, et l'on terminerait l'éducation en 28 jours avec 25 degrés de chaleur. La perte sur le poids de la feuille n'est pas alors à redouter, la température s'élevant de jour en jour, et lui donnant un prompt développement.

La connaissance que l'on a obtenue de cette disposition du ver à soie, qui, comme un végétal, accélère ou retarde sa

vie, à proportion de la chaleur qu'il reçoit, celle de la somme de chaleur qui lui est nécessaire pour l'accomplir, a donc donné à l'art une heureuse élasticité, qui lui permet de se plier aux exigences des cas et aux variétés des saisons.

Quelle doit être la fréquence du renouvellement de l'air dans un atelier, pour maintenir les vers à soie en parfaite santé? Les opinions devaient varier à cet égard autant que les dimensions des ateliers dans lesquels les expériences étaient faites, autant que l'espacement des vers entre eux, autant que les soins de propreté qui leur étaient donnés, autant que la fréquence des repas et l'abondance de la feuille distribuée, trois éléments qui font varier aussi les causes de la corruption de l'air. Aucun instrument, à la portée des ouvriers, ne nous avertit du méphitisme de l'atmosphère: nos poumons et notre odorat sont seuls assez sensibles pour nous l'indiquer. Nous devons respirer parfaitement à l'aise dans l'atelier et n'y sentir aucune mauvaise odeur.

On effectue la ventilation au moyen des tarares, des fourneaux d'appel, du courant d'air chaud. On a proposé aussi des soufflets. Tous ces moyens sont encore soumis à l'expérience, qui prononcera définitivement sur leurs résultats pratiques et économiques. Dans la disposition de l'atelier, indiquée par M. Darcet, où la ventilation s'opère de bas en haut, on a remarqué que le courant ascendant renouvelait, sans doute, l'air des allées qui entourent les étages de tables, mais que ces tables elles-mêmes, superposées les unes aux autres, arrêtaient son mouvement, et que l'air qu'elles renfermaient entre elles ne participait pas au mouvement ascensionnel. Plusieurs solutions ont été proposées pour opérer la translation latérale de cet air. En Italie, on a combiné un

système de tables circulaires, tournant autour d'un axe, accompagné de larges diaphragmes en toile, qui déplacent l'air en avançant, et sont aidés par des moulinets latéraux, dont les ailes, mises en mouvement par le même moteur que le système, agitent l'air en tous sens. La complication de ce moyen, sa cherté et la difficulté de son application à tous les locaux, ne peut en permettre l'adoption. M. Vasseur a proposé et a commencé à répandre dans le Midi ses tables mobiles, tournant de haut en bas et de bas en haut, et pouvant être amenées successivement à la portée des ouvriers; commodes en cela pour le service, et en même temps déplaçant l'air par leur marche horizontale, quand elles passent du mouvement ascendant au mouvement descendant, en accomplissant leur rotation. Cette ingénieuse invention me paraît apporter un grand perfectionnement à la magnanerie. Enfin, M. Reboul vient de proposer d'appliquer le système de la ventilation forcée de M. Darcet dans son entier, mais en changeant sa direction, et en la rendant horizontale de verticale qu'elle était; ce courant latéral balayerait alors, en les renouvelant avec efficacité, les couches d'air renfermées entre les tables (1). Ce moyen n'a pas encore subi l'épreuve de l'expérience.

Mais pour maintenir la pureté de l'air, en éloignant les causes qui peuvent contribuer à le corrompre, l'usage des filets qui, étendus sur les tables et chargés de feuilles, en enlèvent à la fois tous les vers à soie, pour les déposer sur

(1) Ventilation horizontale et ventilation inclinée, par Robinet; *Annales de l'agriculture française*, mai 1841.

une table nettoyée, en laissant leur litière sur celle qu'ils quittent, cet usage chinois, que les missionnaires nous avaient fait connaître, et qui avait été proposé depuis long-temps à notre imitation, a été rendu d'un usage presque général par l'introduction du filet à mailles carrées, dont les mailles ne se déforment pas dans l'extension, et qui ne risque pas de pincer les vers à soie. C'est un des plus grands services rendus à l'art des magnaniers, dont le délitement était un des soins les plus pénibles, et par conséquent le moins bien rempli, et seul il a augmenté les récoltes dans une forte proportion partout où il a été introduit.

Puisque je parle d'un usage venu de la Chine, je ne dois pas passer sous silence l'utile traduction des notices chinoises sur le mûrier et la soie, que nous devons à M. Stanislas Julien, ouvrage qui, au milieu de pratiques futiles ou trop communes, renferme des préceptes sages et applicables. Cet estimable confrère nous fait espérer la traduction d'un ouvrage beaucoup plus important sur le même sujet, et qui ajoutera à notre reconnaissance envers lui.

Voilà donc les vers à soie en jouissance d'une température convenable, constante, et d'un air pur; il reste encore à régler ce qui concerne leur nourriture. Avant la réforme de Dandolo, on distribuait quatre repas par vingt-quatre heures aux vers à soie, aussi arrivait-il qu'une grande partie de la feuille, flétrie avant d'avoir été touchée par l'insecte, se perdait sans aucun profit. Dandolo rapproche les repas, et indique pour chaque âge la quantité de feuilles consommée par les vers; il introduit la règle dans le désordre. La pratique s'est encore perfectionnée après lui. On a donné des repas moins abondants, mais plus fréquents, proportionnés à l'ap-

pétit des vers à soie. Mais il faut beaucoup d'attention et de jugement pour bien appliquer cette méthode, car ici l'intervalle entre les repas ne peut plus être réglé, non plus que la ration à distribuer : ils dépendent de l'appétit du ver à soie, qui varie dans toutes les périodes de son existence; ils dépendent de la chaleur de l'atelier, ils dépendent enfin de la nature de la feuille elle-même, dont quelques variétés se fanent plus vite et sont ainsi plus promptement rebutées par les insectes. Une bonne et profitable éducation ne peut être que le fruit de l'intelligence, aidée d'une observation incessante. Mais il faut des préceptes invariables au vulgaire des éleveurs, et l'on doit faire à son penchant pour la routine le sacrifice de quelque perfection qui entraînerait de plus graves inconvénients. Il faudra donc, après avoir établi des règles fixes sur l'espacement des vers à soie, étudier les moyennes de temps qui doivent séparer les repas, composés d'une quantité de feuilles déterminée sur chaque mètre carré, et pour les différents degrés de température, réduire en formule le résultat de ces recherches, pour qu'elles puissent servir de règle approchée autant que possible de la vérité. C'est un travail à recommander à ceux qui s'occupent activement du perfectionnement de l'industrie.

Le service des vers à soie devient si fatigant pendant les derniers jours de leur vie, qu'on ne pourrait l'exiger pendant la nuit des personnes qui y auraient passé leur journée. Aussi, dans la pratique ordinaire, les soins sont-ils suspendus pendant quelques heures. Dans la rigueur de la théorie, ils ne devraient l'être jamais, car l'insecte n'a pas de sommeil journalier. Quelques éleveurs disent pourtant n'avoir pas éprouvé d'inconvénients du long intervalle mis

entre le repas du soir et celui du matin, pourvu que l'on baisse la température pendant la nuit. Cela se résout seulement en une prolongation de la durée de l'éducation. Ce point est très-important, car s'il fallait augmenter le nombre des ouvriers, la limite de la production dans les pays où elle tend à absorber tous les bras disponibles, baisserait beaucoup; ce côté de la question mérite donc d'être sérieusement étudié.

L'inégalité de température qui régnait nécessairement dans les anciens ateliers, l'air plus froid près des ouvertures et dans la partie inférieure du local, plus chaud près des poêles et dans les parties supérieures, amenait nécessairement une grande différence dans la durée de chaque période de la vie des vers à soie, si sensibles à ces différences. Il en résultait une inégalité de plus en plus sensible à mesure qu'ils avançaient dans la vie, et tous les inconvénients qui pouvaient résulter d'un traitement égal appliqué à des insectes d'âge et de force différente, ou de la variété du traitement pour les différentes catégories de vers dans un même atelier. L'égalité de température que l'on se procure par les nouveaux procédés a fait disparaître ces anomalies, et le spectacle de l'extrême facilité apportée par l'unité de marche dans l'éducation de tous ces vers d'égale force, a amené un perfectionnement dans les autres ateliers, qu'il est important de faire connaître, pour qu'il se généralise bientôt. C'est ce que l'on a appelé la catégorisation des vers à soie. On sait que les chenilles se dépouillent quatre fois de leur peau, et que pendant ces mues elles cessent de manger et paraissent dormir. Dans les chambrées bien conduites, ces phases de la vie du ver doivent arriver en même temps; mais elles

donnent la facilité de séparer les plus retardés de ceux qui les devancent, puisque ceux-ci recommencent à manger les premiers, et qu'au moyen des filets garnis de feuilles on peut les enlever des litières sur lesquelles restent les retardataires encore endormis. On peut alors ou en faire des chambrées à part que l'on traite selon leurs progrès relatifs, ou sacrifier les moins avancés. On a remarqué que ce sacrifice fait de bonne heure, et auquel il faut se préparer en faisant éclore une plus grande quantité d'œufs, frappait sur ceux dont la constitution maladive, plus que toute autre cause, avait retardé le développement, et qu'il rendait moins fréquente l'apparition de la plus terrible maladie qui menace nos ateliers : je veux parler de la *muscardine.*

On conçoit le désespoir de nos éleveurs quand, après de grands sacrifices et un long travail, croyant être parvenus au terme de leurs peines et prêts à en recevoir la récompense, leurs vers se chargent d'un duvet blanchâtre, paraissent se changer en un morceau de chaux, et périssent sans faire leur cocon; ou, ce qui est un adoucissement au mal, se momifient dans le cocon qui perd une partie de son poids, dont l'acheteur ne tient jamais compte qu'imparfaitement; et malheureusement le fléau ne se borne pas aux ravages d'une seule année, et ceux qui l'ont une fois subi sont menacés de le voir reparaître à l'avenir.

Vainement on avait cherché les causes de cette affection contagieuse, et pourtant il était de la dernière importance de la découvrir pour en trouver le remède. M. Rigaud de Lille, correspondant de l'Académie des sciences, obtint du gouvernement qu'un savant physiologiste serait envoyé dans le Midi pour l'étudier. M. Nysten fut choisi, et fit ses expé-

riences chez M. Rigaud, et de concert avec lui. Elles furent presque toutes négatives. Le ver à soie, soumis aux influences les plus diverses du froid, du chaud, de l'humidité, de la sécheresse, de l'électricité, etc., ne contracta pas la muscardine; mais il la prit du contact des vers infectés, et ne fit que confirmer ce que l'on savait déjà. Cette mission ne remplit donc pas son but principal, mais elle produisit des recherches intéressantes qui n'ont pas perdu leur importance.

On en était encore là il y a peu d'années, quand M. Bassi, de Lodi, annonça que la muscardine était produite par un végétal parasite qui, par son développement dans le tissu graisseux de l'animal, produisait ces filaments blancs qui le recouvrent, s'emparait de sa propre substance et le réduisait à l'état de momie. Cette opinion devint un fait avéré après les expériences de notre confrère M. Audouin, qui inocula les germes de la muscardine non-seulement aux vers à soie, mais encore à d'autres insectes. M. Bérard proposa aussitôt d'appliquer à sa destruction les lotions de sulfate de cuivre, dont l'efficacité contre le végétal parasite du charbon du blé était reconnue. Ses expériences parurent confirmer cette analogie. Nous avons vu que dès 1783 M. Blancard de Lauriol avait proposé dans un autre but, celui de dessécher les litières, l'emploi de la chaux en poudre. Des réussites constantes avaient suivi, dans la Drôme et surtout dans Vaucluse, l'emploi de ce procédé. Dans le premier de ces départements, où il avait été inventé, on en avait abandonné l'usage, parce qu'on craignait que les litières chaulées ne fussent nuisibles aux agneaux à qui on les faisait manger pour les engraisser. Ces succès ne semblaient-ils pas prouver

que la chaux avait agi contre plus d'une cause de destruction et, probablement, contre la muscardine? La découverte de M. Bassi, en donnant une base certaine aux recherches curatives et préservatrices, est donc un des plus grands services rendus à l'art par la science depuis le commencement du siècle.

Après avoir agi en aveugle jusqu'à présent dans le choix des races de ver à soie, on commence à s'apercevoir que cette étude peut avoir beaucoup d'importance. On a fait venir des œufs de la Chine et de l'Inde, et l'on a étudié les espèces et les variétés d'insectes qui produisent de la soie; mais une recherche bien plus importante encore est celle de la variété qui, dans des circonstances données, promet le produit le plus élevé, en combinant la force, la finesse, l'abondance de la soie. M. Robinet a fait l'année dernière, à Poitiers, des essais intéressants dans cette direction.

On peut le voir par tout ce que je viens de dire, la réforme moderne a eu pour principal résultat d'arracher les méthodes d'éducation des vers à soie à l'empire de la routine, pour les faire entrer dans le domaine de l'intelligence, aidée des secours de la science; de perfectionner, mais aussi de compliquer la disposition des ateliers, d'attacher le succès à des constructions plus coûteuses, qui puissent rendre uniformes, réguliers, mécaniques, pour ainsi dire, les soins dispensés aux vers à soie; de suppléer par là à l'attention soutenue et aux efforts de jugement qu'exigeaient les circonstances sans cesse variables des anciens ateliers, et qui ne se rencontraient pas dans la masse des éleveurs; en un mot, la réforme remplace l'action intelligente de l'homme par celle des appareils, les efforts individuels par le capital; elle tend

par conséquent à resserrer le cercle de ceux qui entreprendront avec fruit l'éducation des vers à soie, à la faire sortir des chaumières pour la concentrer dans de grands ateliers, en rendant aux petites éducations négligées la lutte impossible contre les grandes éducations faites avec tous les moyens de l'art. C'est le monopole de l'industrie par les capitaux, qui s'introduit ici comme dans toutes les branches des manufactures.

Fait étrange que celui qui accompagne partout dans l'ordre industriel les progrès de l'indépendance individuelle dans l'ordre civil et politique. L'autorité paternelle, affaiblie par les lois et par les mœurs, les liens de famille par l'égalité des partages qui accroît l'indépendance de leurs membres les uns envers les autres; le pouvoir politique perdant chaque jour de sa force et se dispersant dans un nombre infini de mains, et aussitôt les possesseurs de capitaux fondant une nouvelle autorité, autorité souveraine qui dispose des hommes en vertu de leurs propres besoins, recevant de la science des forces nouvelles incorporées à des machines qui n'ont une action utile qu'autant qu'on travaillera en grand et sous une direction unique. Ainsi de nouveaux liens tendent à grouper le genre humain qui semblait devoir se dissoudre en individualités. La richesse et la vie des nations sont aujourd'hui à ce prix.

J'espère encore que l'industrie des vers à soie, qui fait l'occupation et l'aisance d'un si grand nombre de petits cultivateurs du Midi, échappera à cette loi fatale. Ce qui me le fait penser, c'est que celui qui veut entreprendre l'éducation en grand a contre lui plusieurs désavantages évidents: d'abord des constructions coûteuses qui ne peuvent avoir

d'autre destination, tandis que le petit éleveur se contente de sa chambre et de son grenier, et ne fait pas de construction spéciale; ensuite, la femme et les enfants de ce dernier soignent sans frais les vers à soie jusqu'à leur dernier âge, tandis que le grand atelier ne marche qu'à prix d'argent; enfin je ne crois pas qu'il soit impossible de populariser et de rendre pratiques une grande partie des procédés qui donnent en ce moment un avantage considérable aux ateliers modèles, et de rétablir l'égalité qui menace d'être rompue, en élevant par l'instruction les faibles au niveau des forts.

Je n'ai traité dans ce discours qu'une partie de mon sujet, et je l'ai fait rapidement, en négligeant une foule de détails importants. Il y aurait à parler maintenant des progrès obtenus dans la filature de la soie, qui a reçu de l'appareil Gensoul un si grand perfectionnement; du moulinage, qui n'a pas fait de progrès aussi marqués, parce que déjà Vaucanson, à la fin du dernier siècle, lui avait fait faire un grand pas; de la fabrication, que le métier Jacquart a portée si loin; comme aussi de la culture du mûrier, dotée de plusieurs variétés nouvelles et intéressantes. Mais cette exposition me conduirait trop loin et dans un nouvel ordre d'idées; et si j'ai pu faire comprendre dans cet exposé rapide l'ensemble des faits qui se rattachent à la partie zootechnique du sujet, si j'ai pu faire avec impartialité la part de ceux qui ont coopéré à la réforme sériciole, j'aurai rempli une tâche qui ne sera pas sans utilité.

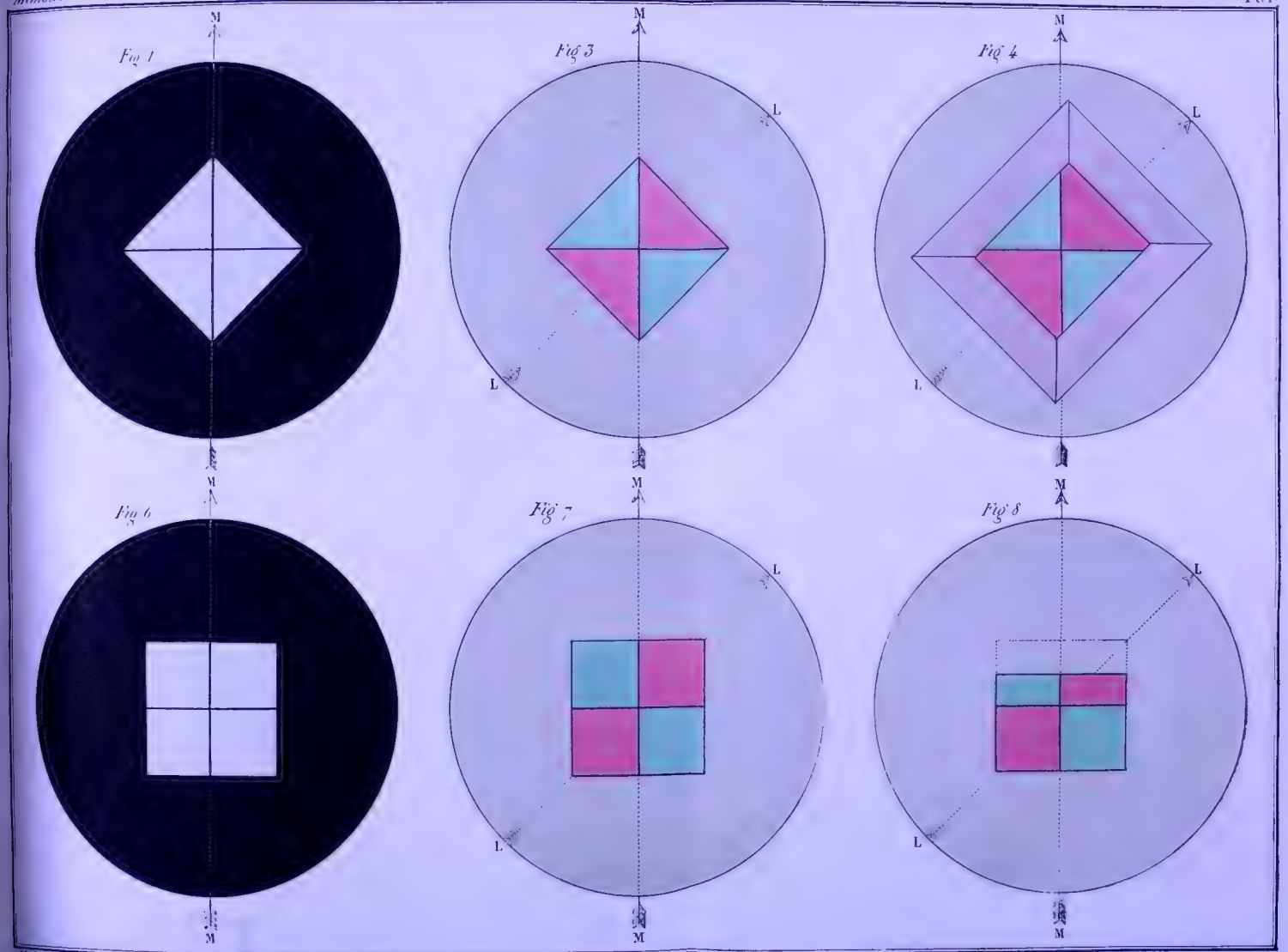
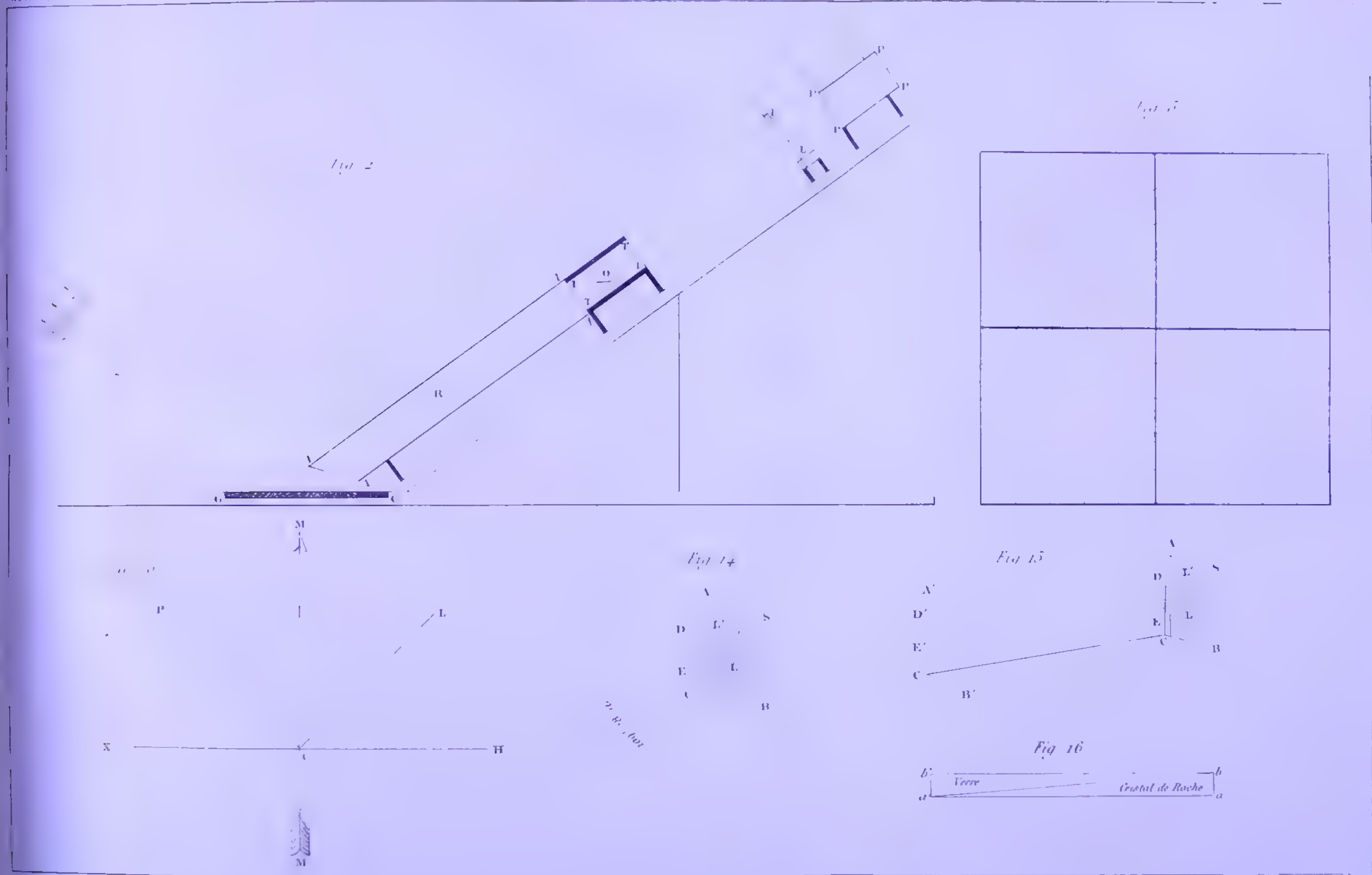


Fig 1
M
M
Fig 3
M
L
L
M
Fig 4
M
L
L
M
Fig 6
M
M
Fig 7
M
L
L
M
Fig 8
M
L
L
M



H. Roux ainé Sculp.

H. Roux

Fig 11

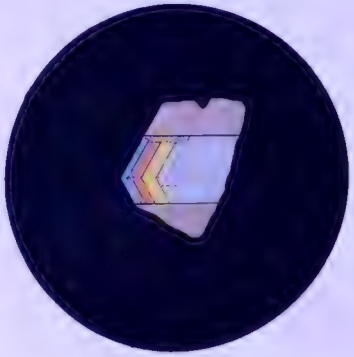


Fig 12.

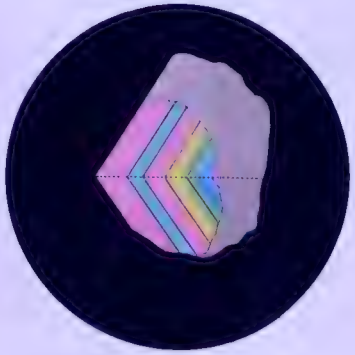


Fig 13

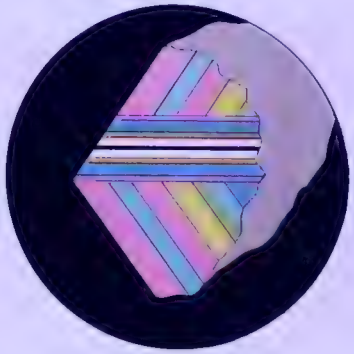


Fig 9.

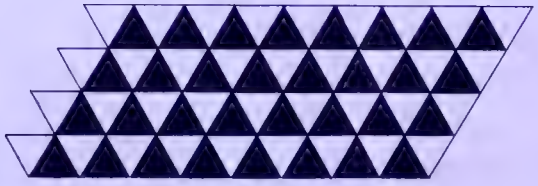


Fig 40

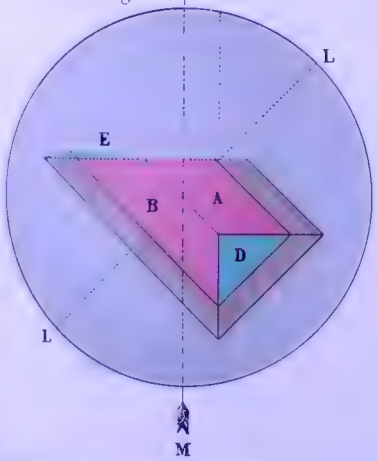


Fig 38

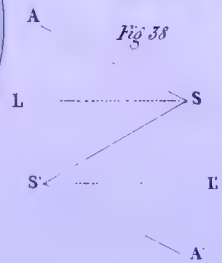


Fig 39.

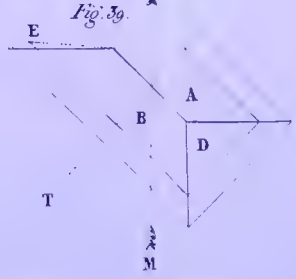
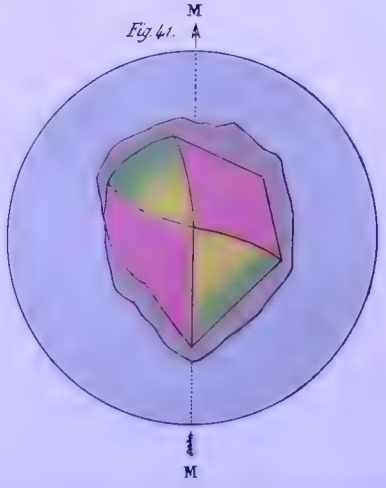


Fig 41.



H Roux aîné lith. Chromolith. de J. Engelmann Paris

Fig.

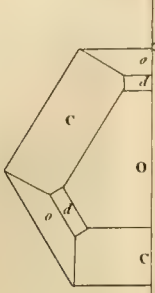


Fig. 17.

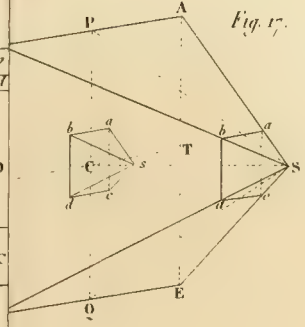


Fig. 18.

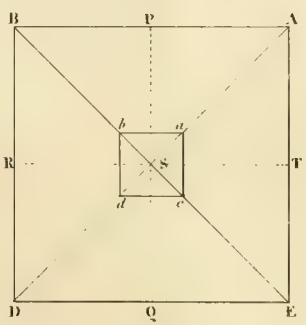


Fig. 22.

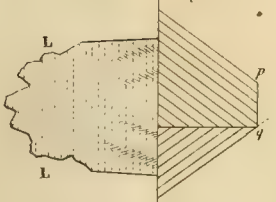


Fig. 21.

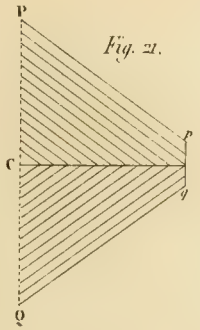


Fig. 20.

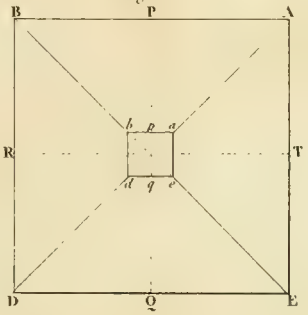


Fig. 27.

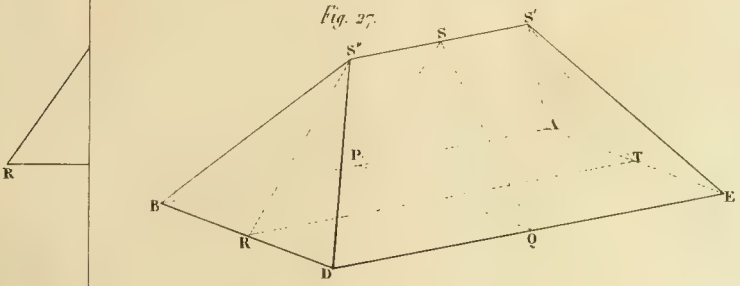
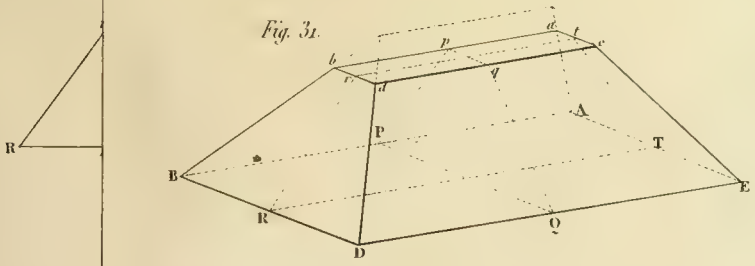


Fig. 31.



H. Roux aîné Sculp.t

Fig. 35

Fig. 36.

Fig. 37.

Fig. 19.

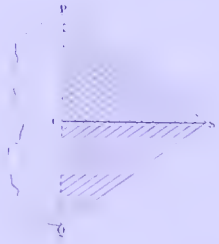


Fig. 17

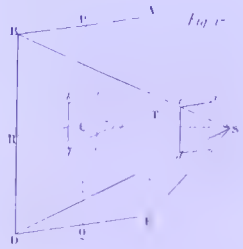


Fig. 18

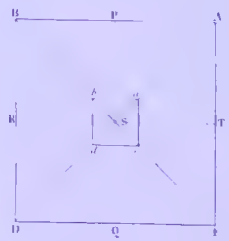


Fig. 26

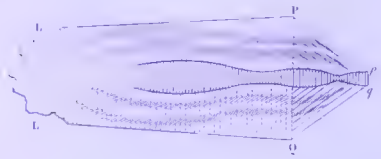


Fig. 25

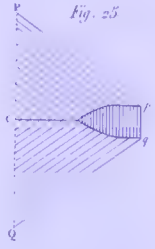


Fig. 24.

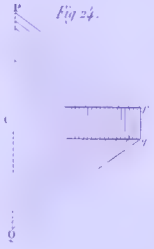


Fig. 23.

Fig. 22.

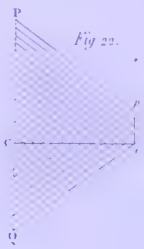


Fig. 21.

Fig. 20

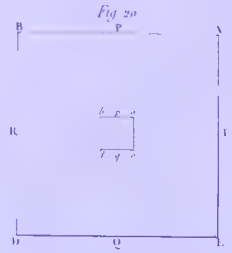


Fig. 30.

Fig. 29

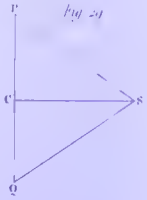


Fig. 28

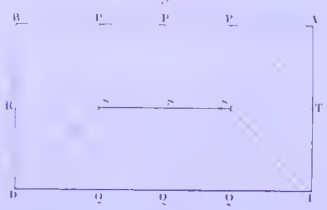


Fig. 27

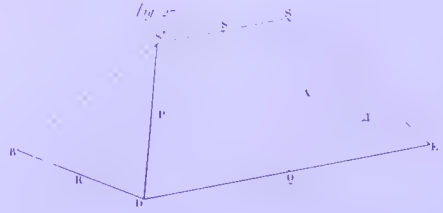


Fig. 34.

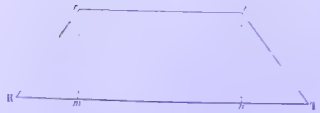


Fig. 33

Fig. 32

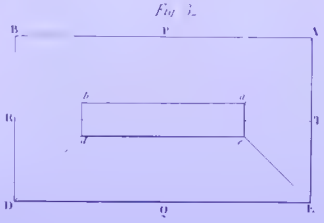
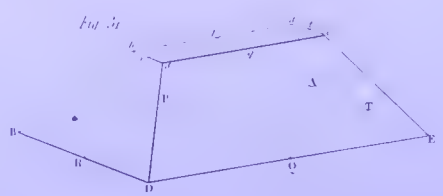
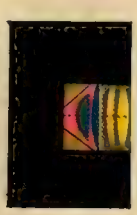


Fig. 31



Mémoire de M



Fi

H. Roux aine lith.

Fig 42 A.

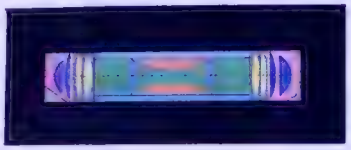


Fig 42 B.

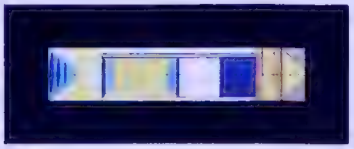


Fig 42 C

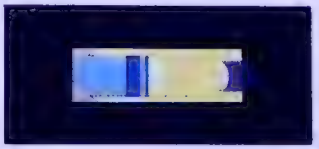


Fig 42 D.

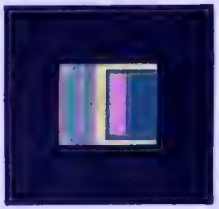


Fig 42 E

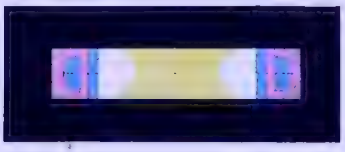


Fig 42 F

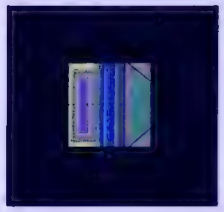
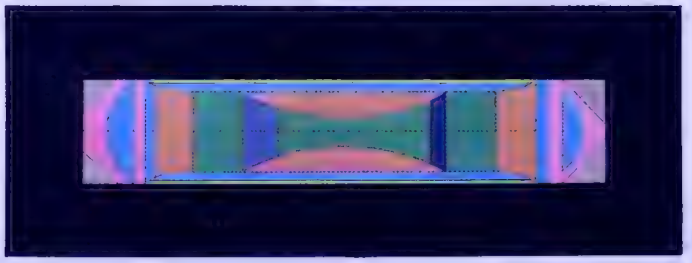
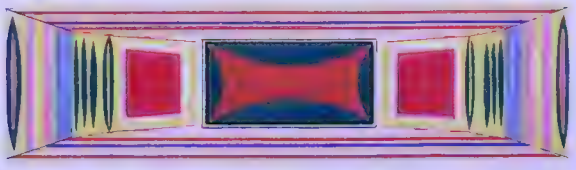


Fig 42 G.





Copie reduite de la figure d'un Cristal complet d'apophyllite donné par le docteur Brewster dans les memoires d'Edimbourg

MÉMOIRE

SUR LA

POLARISATION LAMELLAIRE,

PAR M. BIOT,

Lu à l'Académie des sciences, le 31 mai 1841 et séances suivantes.

M'étant proposé d'analyser par l'expérience divers phénomènes de polarisation qui ont embarrassé les minéralogistes, parce qu'ils semblaient en discordance avec les rapports jusqu'alors admis entre la forme cristalline et l'existence de la double réfraction, j'ai été conduit à reconnaître que tous les corps cristallisés, indépendamment du pouvoir polarisant produit par leur agrégation moléculaire, peuvent occasionnellement exercer sur la lumière polarisée un autre genre d'action, résultant de leur organisation par couches distinctes, superposées les unes aux autres, et dirigées en des sens divers, dans leur masse totale. Les effets spéciaux de ces systèmes lamellaires me paraissant résoudre les difficultés minéralogiques que j'avais en vue, je les exposerai d'abord abstracti-

vement, suivant l'ordre le plus propre à les constater et à les résumer en un fait général. Je développerai ensuite les conséquences de leur intervention occasionnelle dans les différentes classes de corps cristallisés. Mais, afin de suppléer aux connaissances minéralogiques qui m'auraient manqué dans cette application, je me suis aidé des conseils de notre confrère M. Dufrénoy, qui a bien voulu en vérifier avec moi les principaux détails, et me fournir toutes les indications cristallographiques nécessaires pour les interpréter exactement. Je lui en témoigne ici ma sincère reconnaissance.

§ I.

Sur le pouvoir polarisant des cristaux d'alun, considéré dans les premières phases de son développement.

Prenez un cristal d'alun octaèdre, complet, régulier, le plus pur et le plus limpide qu'il soit possible d'obtenir. Fixez-le dans un tube métallique terminé par des glaces minces, en le disposant de manière qu'un de ses axes soit parallèle aux arêtes du tube; puis, remplissez celui-ci d'une solution aqueuse de la même espèce d'alun, qui soit à peu près saturée à la température où l'on opère. Le pouvoir réfringent de cette dissolution étant peu différent de celui du cristal, elle le rendra longitudinalement perméable à la lumière, malgré l'obliquité de ses faces sur les rayons lumineux; et toutefois, étant saturée, elle ne l'attaquera point. Cela fait, polarisez un faisceau de lumière blanche des nuées par réflexion sur une glace horizontale, et recevez-le à travers un grand prisme de Nicol, disposé de manière que sa transmission immédiate

y soit impossible; de sorte que la glace réfléchissante paraisse noire. Toute plaque transparente qui sera capable de modifier, partiellement ou en totalité, la lumière polarisée qui la traverse, rendra aussitôt la glace visible, si on l'interpose dans le trajet du faisceau. Or, l'interposition de l'octaèdre d'alun produit généralement cet effet, excepté dans deux positions rectangulaires entre elles, qui sont celles où les plans menés par son axe, perpendiculairement à ses faces, deviennent respectivement parallèle et perpendiculaire au plan de la polarisation primitive. Supposons qu'on l'ait amené dans une de ces situations en tournant convenablement le tube qui le renferme : la glace paraîtra noire. Mais, pour peu qu'on détourne le tube vers la droite ou vers la gauche, les quatre triangles qui forment la projection des faces du cristal s'illuminent d'une blancheur bleuâtre, laquelle croît en intensité, sans changer de teinte, jusqu'à ce que les plans normaux à ces faces aient tourné de 45°, comme le montre la figure 1re, où la flèche, affectée des lettres MM, désigne la direction de la polarisation primitive, ainsi que je le ferai toujours dans ce qui va suivre. Au delà de ce terme, l'action de l'octaèdre s'affaiblit par les mêmes périodes, et redevient nulle quand la rotation a accompli un quadrans complet, après quoi les phénomènes recommencent de la même manière. Ainsi, pendant ce mouvement de rotation autour de son axe, le cristal d'alun agit, comme ferait une plaque de béril ou de cristal de roche, dont la section principale coïnciderait avec les plans normaux aux faces latérales, ou leur serait perpendiculaire. Afin donc de rappeler cette analogie, je nommerai désormais ces plans normaux aux faces, les *sections principales* de l'octaèdre d'alun.

Les phénomènes précédents sont d'autant plus nets que l'octaèdre est plus pur, plus régulier, et plus continu dans sa constitution intime. Il est rare, et peut-être impossible, d'en trouver qui aient cette exacte continuité dans toute leur masse. Cela fait que l'action dépolarisante ne devient presque jamais rigoureusement nulle à la fois dans toute leur projection. Quand on a tourné les sections principales apparentes dans le sens convenable pour la faire évanouir dans son ensemble, on voit toujours quelques petits points irrégulièrement disséminés, dans lesquels la blancheur est encore sensible, surtout lorsque le faisceau polarisé est introduit dans un tuyau noirci, où il traverse l'octaèdre et parvient à l'œil sans mélange d'aucune lumière étrangère, précautions essentielles que je supposerai constamment réalisées. Mais la faiblesse de ces derniers effets, leur irrégularité dans chaque cristal, et leur dissemblance dans les cristaux divers, montrent qu'ils doivent être attribués à des discontinuités de constitution accidentelles qui n'empêchent pas la loi générale d'être évidente. Je n'ai trouvé aucun octaèdre limpide et *complet* d'alun qui ne la présentât, quoique j'en aie observé un très-grand nombre.

Néanmoins, même avec les précautions que je viens d'indiquer, l'observation ne laisse pas d'être délicate ; et la faiblesse de ce genre d'action est presque toujours telle, qu'on pourrait très-difficilement apprécier, ou même apercevoir les différents degrés d'énergie dont elle est cependant susceptible en réalité. Mais, heureusement les lois déjà connues de la polarisation suggèrent un artifice physique qui rend leurs moindres nuances manifestes.

Tous les physiciens connaissent ces vives couleurs que les

lames des substances qui exercent la double réfraction développent, quand elles sont interposées, sous certaines conditions de minceur, dans le trajet d'un rayon blanc polarisé en un sens unique. Ce beau phénomène, découvert par M. Arago en 1811, présente, en quelque sorte, l'incrément différentiel de la double réfraction. En l'étudiant longtemps après lui, dans des substances où la succession des rayons extraordinaires pour diverses épaisseurs des lames offre à très-peu près la série des teintes des anneaux de Newton, je fus conduit à reconnaître que leurs lois d'intermittence se continuaient à travers des plaques d'épaisseur quelconque, pourvu que les deux rayons diversement réfractés par elles ne fussent pas sensiblement séparés dans leur émergence. Par une conséquence de cette observation, si l'on superpose deux pareilles plaques, exerçant une double réfraction de même espèce, soit attractive, soit répulsive, et dont les intermittences d'action sur les rayons d'inégale réfrangibilité, s'opèrent par des intervalles soumis à un même rapport de proportionnalité pour tous ces rayons, l'effet résultant correspond à la somme ou à la différence de leurs épaisseurs totales, selon que leurs sections principales sont rendues parallèles, ou croisées à angles droits; et le résultat inverse a lieu dans les mêmes positions relatives, quand les doubles réfractions sont de nature contraire. De sorte qu'avec de telles plaques d'épaisseur quelconque, ainsi combinées, on obtient les mêmes séries de teintes qu'avec des lames minces d'une seule d'entre elles. Lorsque les intermittences d'action des plaques superposées suivent des proportions différentes d'intervalles pour des réfrangibilités diverses, on obtient encore ainsi des images colorées, par la coïncidence ou le

croisement de leurs sections principales; mais la teinte résultante n'est plus alors aussi simplement expressible, en général. Néanmoins on peut, presque toujours, l'énoncer encore comme un effet d'opposition ou de somme, quand les actions propres des plaques combinées sont individuellement très-faibles, parce que, dans la plupart des cas, les premières intermittences de polarisation associent les rayons colorés, suivant des proportions très-peu différentes pour l'œil; et c'est ce qui va avoir lieu ici.

D'après cette remarque, pour apprécier approximativement la faible action propre de notre cristal d'alun, il n'y a qu'à le combiner de cette manière avec une lame de chaux sulfatée, dont la minceur soit telle qu'elle produise déjà des couleurs par elle-même, quand on l'interpose seule dans le trajet d'un rayon polarisé. Car les changements opérés dans la teinte résultante indiqueront à la fois le sens et la nature de l'action additionnelle. En outre, pour rendre son influence plus manifeste, il faut choisir la lame de chaux sulfatée dans les conditions de minceur où sa teinte propre est le plus rapidement et le plus vivement modifiable. Or, en cherchant dans la table des anneaux de Newton la période où cette sensibilité de variation est la plus grande, on voit qu'elle a lieu vers l'épaisseur d'air désignée par le nombre 21, laquelle donne pour teinte réfléchie un violet bleuâtre analogue à la fleur du lin, ayant pour complément un jaune verdâtre. Car la moindre augmentation d'épaisseur fait descendre cette teinte à un bleu foncé, puis à un vert de pré très-vif; tandis que la moindre diminution la fait monter au rouge de sang, puis au rouge éclatant des œillets de mai. J'ai donc cherché, par une multitude d'essais, à extraire des

cristaux de chaux sulfatée les mieux divisibles, une lame qui, exposée au faisceau polarisé, produisît dans le prisme analyseur cette même teinte de violet bleuâtre, ou quelque autre très-voisine. Et si j'ai eu besoin de quelque patience pour atteindre cette limite précise, j'en ai été bien dédommagé par la netteté, comme par la vivacité, des effets produits.

Ayant donc une telle lame, je détermine avec soin la direction de sa section principale par les procédés connus; et je la fixe sur un cadre rectangulaire, de manière que cette section, que je désignerai toujours par les lettres LL, forme un angle de 45° avec les côtés du rectangle. J'ai d'avance établi au devant du prisme analyseur, un diaphragme à base horizontale, dont le plan est perpendiculaire au faisceau polarisé. J'applique le cadre sur ce diaphragme, en posant sur sa base un quelconque des côtés du rectangle. Alors, la section principale de la lame de chaux sulfatée se trouve naturellement former un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif, et le sens suivant lequel elle se dirige est toujours connu. La fig. 2 représente le profil vertical de tout l'appareil. GG est la glace réfléchissante; AA, un tuyau noirci intérieurement, qui transmet le faisceau polarisé IR; LL désigne la lame mince de chaux sulfatée, placée sur son support, et PP le prisme analyseur. Le tout est recouvert extérieurement d'un abri en papier noir, pour arrêter la lumière étrangère qui troublerait l'observation.

Ceci réglé, on interpose dans le trajet du faisceau, et avant la lame LL, le tube TT qui renferme le cristal d'alun, entouré de la solution saturée; et, en le tournant autour de son axe, on amène d'abord une des sections principales de l'octaèdre dans le plan de polarisation primitif, ce qui rend l'autre

section principale perpendiculaire à ce plan. C'est la position où l'action dépolarisante propre de l'octaèdre est généralement nulle, ou, du moins, d'autant plus près de l'être, qu'il est plus régulièrement constitué. Alors, dans tout l'ensemble de la projection, la lame de chaux sulfatée conserve sa teinte propre. Mais elle la perd dans les points particuliers où le faisceau transmis rencontre quelques irrégularités du cristal d'alun. La faible lueur blanchâtre qui indiquait ces irrégularités dans la vision directe, est remplacée ici par autant de petites taches brillantes de vert ou de rouge, qui se détachent sur le fond violet bleuâtre, et deviennent sensibles aux yeux les moins exercés.

Les ayant reconnues, et ayant constaté leur faible proportion ainsi que leur caractère accidentel, on tourne graduellement le tube jusqu'à ce que les sections principales de l'octaèdre arrivent à 45° du plan de polarisation primitif. Alors, l'une d'elles coïncide avec la section principale LL de la lame de chaux sulfatée, et l'autre lui est perpendiculaire. Pendant tout ce mouvement, la projection carrée de l'octaèdre se partage en quatre triangles égaux, deux verts et deux rouges, séparés par les diagonales de sa base, et ayant leurs sommets dans l'axe du cristal, comme on le voit fig. 3. Ceux de même couleur sont opposés par le sommet; et leurs teintes propres, toujours constantes dans le premier quadrans, s'échangent mutuellement dans les autres, quand on prolonge la rotation jusque-là. Dans chaque quadrans, leur intensité atteint son maximum, lorsque les sections principales de l'octaèdre forment un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif. Alors, l'une de ces sections coïncide avec la section principale LL de la lame de chaux sulfatée,

et elle contient les triangles rouges ; l'autre lui est perpendiculaire et contient les triangles verts. L'action exercée par le cristal d'alun s'ajoute donc à celle de la lame de chaux sulfatée dans le double fuseau longitudinal où les triangles verts se forment ; elle s'en retranche dans le double fuseau longitudinal où se forment les triangles rouges. Maintenant, sans rien préjuger sur la nature des teintes que cette action pourrait produire dans un rayon polarisé par son développement ultérieur, considérons-la dans son état actuel de faiblesse, où les premières intermittences de polarisation qu'elle produit composent seulement une image extraordinaire d'un blanc bleuâtre, assimilable pour l'œil aux premières phases des anneaux de Newton, et aussi aux premières images extraordinaires produites par les lames minces de chaux sulfatée. Alors, dans ce système d'appréciation approximative, si la teinte propre de la lame sensible est supposée représentée par le nombre 21, 5 de la table de Newton, la teinte résultante verte, formée par somme, se trouvera correspondre à peu près au nombre 25, et la teinte rouge, formée par opposition, au nombre 18; ce qui donnera également 3, 5 pour l'expression relative de la teinte propre à chaque couple de triangles ; résultat qui l'assimile à un bleu blanchâtre du premier ordre, comme son aspect direct l'indiquait. En résumé : chaque fuseau longitudinal compris entre les plans menés par l'axe et par les arêtes de notre octaèdre, agit dans ces phénomènes comme ferait une lame mince cristallisée douée de la double réfraction attractive, ayant sa teinte extraordinaire propre exprimée par 3, 5, et dont la section principale serait parallèle aux surfaces externes du cristal. On pourrait éga-

lement les assimiler à ceux d'une lame répulsive de même énergie, dont la section principale serait normale aux faces de l'octaèdre; mais je préfère le premier énoncé, par une raison d'analogie que je vais avoir tout à l'heure l'occasion de développer.

Des changements de teinte, pareils à ceux que je viens de décrire, c'est-à-dire, de même sens et expressibles par le même nombre, se produisent aussi quand on combine l'octaèdre avec des lames minces de chaux sulfatée ou de mica, ayant des teintes propres différentes de celle que j'ai ici choisie pour épreuve. Mais les variations que ces teintes subissent par l'interposition de l'octaèdre d'alun sont moins sensibles pour l'œil, et moins aisément appréciables qu'avec l'épaisseur spéciale que j'ai indiquée; et cela rend celle-ci bien préférable.

Parmi le grand nombre d'octaèdres *complets* d'alun que j'ai ainsi étudiés, tous ceux qui manifestaient une constitution généralement régulière, quand on amenait une de leurs sections principales dans le plan de polarisation primitif, ont reproduit exactement les phénomènes que je viens de décrire. Dans tous, lorsqu'ils ont été combinés avec la même lame sensible de chaux sulfatée, la projection des quatre fuseaux s'est partagée en quatre triangles égaux ayant leur sommet dans l'axe, présentant deux couples, l'un vert, l'autre rouge, disposés diagonalement, et toujours sensiblement de même teinte quelle que fût l'épaisseur du cristal. Si on les tenait pendant quelque temps suspendus dans l'eau pure, leur axe étant vertical, pour les amoindrir régulièrement autour de leur noyau central, ils manifestaient ensuite une action polarisante toujours de même sens, et aussi en apparence de même

intensité qu'auparavant. Car les teintes résultantes de leur combinaison avec la lame de chaux sulfatée sensible, ne présentaient pas de variation appréciable. J'ai suivi cette épreuve depuis de gros octaèdres, dont l'axe avait plus de 42 millimètres de longueur, jusqu'à de tout petits cristaux octaédriques d'alun ammoniacal obtenus par une précipitation lente, et que je dois à l'obligeance de M. Pelouze. Ils étaient tous très-comprimés parallèlement à une de leurs faces, et n'avaient pas plus d'un millimètre d'épaisseur dans ce sens. Cependant ils produisaient les mêmes couleurs que les autres, et offraient la même opposition d'action étant tournés dans des sens rectangulaires. Seulement cette action n'était pas si uniforme, parce qu'ils paraissaient n'être pas régulièrement constitués dans toute l'étendue de leur projection.

Après avoir observé un de ces octaèdres gros ou petit, si l'on enlève une portion quelconque de leur masse, par une section faite suivant l'axe de vision, le reste continue d'agir exactement comme il faisait auparavant; et la figure totale perd seulement ce qui correspond à la partie enlevée. Ainsi chaque série d'éléments moléculaires, située sur le trajet d'un même filet lumineux infiniment mince, exerce ce pouvoir par sa propre constitution, sans dépendre pour cela des séries environnantes.

En rapportant ces phénomènes, j'ai dû, pour la fidélité de leur description, mentionner la constance des changements que les octaèdres de dimension diverse m'ont paru opérer dans les teintes de la lame sensible; et ils se présenteront sans doute ainsi à la pluralité des observateurs. Mais il ne faudrait pas conclure de cette identité d'apparences que l'action exercée sur la lumière fût, en réalité, d'une énergie exac-

tement égale dans tous les cristaux ainsi comparés, ce qui deviendrait un de ses caractères physiques des plus importants. Car il se pourrait qu'étant toujours très-faible, elle s'y trouvât seulement trop peu différente pour produire dans la teinte de la lame sensible des diversités de modification appréciables pour l'œil; d'autant que, par le choix même de cette lame, toute action très-faible ne peut changer sa teinte propre qu'en un vert, ou en un rouge, dont les nuances sont presque impossibles à discerner. On verra bientôt que l'expérience confirme pleinement cette réserve. Je mentionnerai des pyramides octaédriques d'alun, non pas obtenues à la vérité par les cristallisations gênées des laboratoires, mais dans les fabrications en grand, lesquelles développent immédiatement de vives couleurs dans la lumière polarisée, quand on les observe suivant leur axe, sans le secours d'une lame sensible. Et l'on rencontre aussi l'extrême contraire: car l'on trouve d'autres pyramides pareillement octaédriques aussi bien configurées à l'extérieur, portant même parfois des facettes secondaires régulièrement dérivées de l'octaèdre, lesquelles n'exercent qu'une action insensible ou à peine sensible quand on les observe de la même manière, quelle que soit la direction que l'on donne à leurs sections principales autour du plan primitif de polarisation. Nous aurons à examiner d'où proviennent de si grandes dissemblances, et nous parviendrons à discerner nettement leurs causes. Mais pour le moment je me borne à considérer les phénomènes bien moins intenses que je viens de décrire, tels que les offrent les petits octaèdres complets des laboratoires, et je vais d'abord chercher à caractériser complétement le mode d'action qui les produit.

Lorsqu'on étudie la structure intime de ces octaèdres, qui

est souvent décelée par leurs accidents intérieurs, ou qui devient visible, soit en les observant par réfraction à travers leurs faces prismatiques, soit en les fracturant, on reconnaît qu'ils sont généralement formés, conformément aux indications cristallographiques, par des couches distinctes, plus ou moins continues et régulières, qui s'étendent parallèlement à chacune des faces externes, comme si la masse entière s'était accrue par l'apposition successive de ces couches autour d'un embryon octaédrique central. Cette disposition lamellaire est surtout habituellement manifeste près des surfaces par lesquelles le cristal est terminé extérieurement. La lumière polarisée qui traverse ces octaèdres dans le sens de leur axe est donc soumise aux actions propres des huit systèmes de lames cristallines ainsi disposées. Or, en effet, les modifications qu'elle subit ont une analogie frappante avec celles que produiraient autant de piles formées artificiellement de lames de verre superposées, et séparées les unes des autres par un milieu d'une autre réfringence, tel que l'air ambiant. Car ces piles artificielles, selon le nombre et l'intensité des intermittences de réfraction qu'elles exercent, enlèvent ainsi à un rayon polarisé qui les traverse une portion plus ou moins considérable de sa lumière, qu'elles polarisent de même dans un sens déterminé, relativement à leur plan de réfraction actuel. Mais c'est là que la ressemblance s'arrête; et toutes les autres particularités physiques des effets diffèrent, comme il était naturel de s'y attendre, d'après la différence de constitution qui existe entre une pile réfringente à intermittences brusques, et l'apposition à petites distances des lames composant un système cristallin. Ainsi, la pile artificielle imprime à la lumière qu'elle réfracte un mode de polarisation commun

aux éléments de toute réfrangibilité, d'où ne résulte pas une disposition spéciale pour qu'ils soient ensuite affectés inégalement dans les lames minces à double réfraction moléculaire qu'on leur fait traverser; et c'est pourquoi elles ne modifient pas les teintes propres de ces lames, mais les affaiblissent seulement par le mélange d'une blancheur uniforme, comme l'expérience le montre, et comme je le prouverai plus loin par le calcul. Au lieu que, d'après les observations que j'ai rapportées, et qui seront bientôt confirmées par une analyse spéciale, chaque fuseau octaédrique d'alun enlève seulement à la polarisation primitive un groupe d'éléments lumineux associés suivant certaines conditions de réfrangibilité; leur imprime généralement un sens de polarisation distinct de celui de la pile artificielle; et communique, tant à ce groupe qu'au groupe complémentaire dont il ne trouble pas la polarisation primitive, certaines dispositions persistantes, en vertu desquelles ils se polarisent ultérieurement dans les lames minces douées de la double réfraction moléculaire, comme s'ils avaient déjà traversé une telle lame d'un pouvoir défini, non comme feraient deux faisceaux de lumière naturelle qui auraient été polarisés individuellement par réflexion dans les mêmes sens. Enfin, pour dernière dissemblance, les piles réfringentes artificielles, imprimant toujours aux éléments lumineux un sens de polarisation fixement perpendiculaire au plan dans lequel ils sont réfractés, leur influence se manifeste sur la lumière naturelle comme sur la lumière préalablement polarisée; au lieu que les piles naturelles de l'alun, exerçant un mode de polarisation semblable à celui des lames minces douées de la double réfraction moléculaire, ne peuvent pro-

duire de modifications perceptibles que dans la lumière polarisée, non dans la lumière naturelle. Pour plus de simplicité, je me borne à exprimer ainsi ces divers résultats par leurs apparences physiques, sans les rapporter aux principes d'interférence par lesquels on pourrait les représenter.

Considérant donc les piles naturelles des octaèdres d'alun comme exerçant, autour de leur plan de réfraction actuel, un mode de polarisation semblable à celui que les lames minces, douées de la double réfraction moléculaire, exercent autour de leur section principale, on va voir que les conséquences de cette conception se soutiennent conformes aux phénomènes dans tous les arrangements naturels suivant lesquels ces systèmes lamellaires peuvent être associés et dirigés par la cristallisation.

Premièrement, s'il en est ainsi, lorsqu'un faisceau polarisé sera transmis à travers un octaèdre d'alun, construit régulièrement, il ne pourra le traverser sans modification, que s'il est dirigé suivant l'axe même de l'octaèdre; et si, en outre, son plan de polarisation coïncide avec une des sections diamétrales, perpendiculaires aux faces, ce qui le rendra perpendiculaire à l'autre de ces sections. Car, ces conditions étant satisfaites, les huit piles de lames octaédriques qui constituent le cristal auront toutes leur plan de réfraction parallèle, ou perpendiculaire au plan de la polarisation primitive; de sorte que, dans un cas comme dans l'autre, elles ne pourront pas la troubler. En outre, cette simultanéité de direction normale sur les huit piles sera impossible dans toute autre position quelconque du cristal. Ainsi, ce sera dans ce cas seul qu'une lame mince de chaux sulfatée, placée après lui, pourra donner, dans le prisme analyseur,

la même teinte extraordinaire qui lui est propre, quand elle agit immédiatement sur un rayon blanc polarisé par la réflexion en un sens unique. C'est aussi ce qui se vérifie par l'expérience; et l'on peut s'en assurer, soit en transmettant un rayon ainsi polarisé à travers un octaèdre complet suivant toute direction non coïncidente avec celle que nous venons de désigner, soit en répétant la même épreuve sur des cristaux qui offrent des faces secondaires parallèles entre elles, à travers lesquelles on puisse transmettre immédiatement le rayon polarisé sortant de l'air sans le dévier de sa direction. Car, dans quelque sens que l'on tourne ces cristaux autour de l'axe de vision, une lame mince de chaux sulfatée, placée après eux, en aura toujours sa teinte propre altérée, dans toute l'étendue de la surface de projection; et d'autant plus évidemment qu'elle approchera davantage de l'épaisseur où sa sensibilité est la plus grande.

Deuxièmement: au lieu d'observer l'octaèdre entier, en le tenant dans un milieu d'une force réfringente à peu près égale à la sienne, et terminé par des faces parallèles, il n'y a qu'à y tailler deux pareilles faces, en le tronquant dans des directions perpendiculaires à l'un de ses axes, ce qui permettra d'y introduire directement, suivant ces axes, le rayon polarisé. Alors, si le cristal est entièrement composé de couches octaédriques d'égale étendue dans chaque fuseau, et superposées symétriquement autour de son centre, on n'aura supprimé ainsi que les extrémités des plus externes, qui aboutissaient aux sommets tronqués; mais on n'aura pas changé leur direction ni dérangé les plus intérieures. De sorte que les huit systèmes lamellaires qui composent la masse restante devront encore produire une

action totale de même direction que précédemment. Donc, lorsque la plaque artificielle, ainsi formée, sera combinée avec la même lame de chaux sulfatée qu'on avait employée pour l'octaèdre entier, elle devra produire, dans sa projection, des couples de triangles colorés, disposés de la même manière, et subissant les mêmes variations d'intensité, quand on tournera les sections principales du cristal dans les différents azimuts autour du rayon polarisé. Seulement, ces triangles ne seront visibles que dans l'étendue de la surface de section, qui seule permet la transmission rectiligne. En outre, si l'octaèdre ainsi artificiellement tronqué n'a qu'une action polarisante très-faible, du même ordre que celles que j'ai mentionnées précédemment, sa combinaison avec la même lame sensible donnera encore, aux couples des triangles, des teintes vertes et rouges d'apparence semblable. Or, toutes ces déductions sont exactement conformes à l'expérience, comme le montre la figure 4, où j'en ai représenté les résultats pour une plaque à faces parallèles, taillée ainsi perpendiculairement à l'un des axes d'un octaèdre très-pur, mais dont les faces n'avaient pas tout à fait une égale étendue. L'identité apparente des teintes produites par cette plaque et par les petits octaèdres complets dont j'ai parlé d'abord, n'est d'ailleurs qu'une conséquence accidentelle de sa faible action, comme nous l'avions prévu; car j'en mentionnerai bientôt d'autres qui agissent bien plus puissamment, et qui modifient bien davantage les teintes propres de la lame sensible. L'égalité même des segments triangulaires, leur exacte opposition, leur extension sur toute la surface de projection de la plaque, ne sont aussi que les conséquences accidentelles de la distribution symé-

trique des systèmes lamellaires qui la composent. Car je rapporterai des exemples d'autres plaques où, cette symétrie étant troublée, la régularité des effets l'est aussi; et toujours en conformité avec la direction comme avec l'étendue des systèmes lamellaires existants, dont nous parviendrons à reconnaître les particularités occasionnelles, sans tailler les masses, de manière à prévoir d'avance tous leurs effets. Mais l'analyse de ces cristaux, plus énergiques et plus complexes, sera préparée avantageusement par la discussion de ceux que leur régularité, ainsi que leur faiblesse, rendent plus faciles à étudier; et c'est pourquoi je vais continuer à les considérer spécialement.

La cristallographie nous apprend que la variété cubique des cristaux d'alun peut se concevoir formée par l'apposition de couches de grandeur variable, ajoutées progressivement sur chacune des faces du noyau octaédrique, et composées elles-mêmes de petits octaèdres disposés par rangées parallèles aux lames constituantes de ce noyau. J'ai trouvé, dans la collection chimique du collége de France, une rare réunion de cubes d'alun, ayant jusqu'à douze ou quatorze millimètres d'épaisseur, assez transparents pour pouvoir être observés à travers leur masse, et dont plusieurs sont évidemment construits de cette manière. Car, dans quelques-uns, on aperçoit visiblement les traces du noyau intérieur octaédrique; et dans d'autres, ce noyau est seulement complété en cube sur un certain nombre de ses faces, deux ou trois restant à nu. Supposant donc une telle organisation complétement effectuée, la figure 5 représente les traces d'intersection des lames additionnelles sur une des faces du cube résultant; et l'on doit en concevoir de pareilles sur toutes les autres faces.

Or, la seule inspection de la figure montre qu'une telle addition, supposée régulière, ne fait que multiplier le nombre des lames qui constituaient les huit piles de l'octaèdre intérieur, en étendant leur projection jusqu'aux dimensions d'un carré parfait. De sorte que, si un faisceau de lumière polarisée traverse le cube perpendiculairement à deux faces parallèles, les couches, tant primitives qu'ajoutées, agiront sur ce faisceau exactement comme faisaient celles de l'octaèdre primitif; seulement l'effet produit s'étendra comme la projection, et suivra sa forme. Donc, lorsque les sections principales de l'octaèdre, qui coupent ici les faces du cube suivant ses diagonales, seront tournées à 45° du plan de la polarisation primitive, les quatre triangles que présentait l'octaèdre seront changés en quatre carrés égaux, lesquels, en supposant l'action très-faible, comme elle l'est presque toujours, paraîtront d'un blanc bleuâtre, séparés par une croix noire, ainsi que le représente la figure 6, si le cube est observé directement. Mais si on le combine avec une lame de chaux sulfatée, la même qu'on employait pour l'octaèdre, comme le représente la figure 7, ces quatre carrés se partageront en deux couples, par exemple, ici deux verts et deux rouges, opposés diagonalement comme l'étaient les triangles de la figure 3, dont ils ne sont qu'une extension; et la nature des teintes, ainsi que leurs variations d'intensité dans les divers azimuts autour du plan de polarisation primitive, seront aussi les mêmes que pour l'octaèdre seul. Enfin, chaque pile et chaque portion de pile, agissant dans ces phénomènes indépendamment du reste du cristal, si l'on casse celui-ci en quelque point de son contour, ou si l'on en supprime une portion quelconque en l'usant, la partie des

carrés colorés que les piles enlevées produisaient disparaîtra seule de la surface de projection, comme le représente la figure 8, le reste demeurant inaltéré. Or, toutes ces déductions sont exactement confirmées par les faits; car les figures 6, 7 et 8, que j'ai employées pour les exprimer, ont été dessinées et coloriées d'après les résultats d'expériences réelles. J'ai toutefois remarqué que ces cubes d'alun font habituellement remonter la teinte de la lame sensible un peu plus haut vers le jaune que la généralité des octaèdres de pareille dimension, et la font aussi descendre à un vert un peu plus vif. Mais ce sont là des accidents d'intensité qui se montreront encore bien plus développés dans d'autres circonstances, comme je l'ai annoncé précédemment; et les phénomènes généraux n'en restent pas moins conformes au mode ainsi qu'au sens d'action que nous avions prévus.

Les cubes où j'ai observé ces effets étaient en outre tous revêtus d'une couche corticale très-mince qui, vue par la tranche, exerce son action polarisante propre, comme si elle était composée de lames parallèles aux faces externes. Car ses effets deviennent nuls quand le plan de ces faces est parallèle ou perpendiculaire à la direction de la polarisation primitive; et ils atteignent leur maximum d'énergie quand le même plan est dirigé dans l'azimut de 45°, conditions précisément inverses de celles qui amènent les mêmes phases pour les systèmes lamellaires intérieurs. De plus, le sens d'action propre de cette couche sur la lumière polarisée transmise est aussi inverse, comme si elle s'exerçait par réflexion, non par réfraction. D'après les indications cristallographiques, les surfaces externes des cubes ne seraient pas réellement planes, mais dentelées, comme le représente la

figure 9, en vertu des saillies alternatives formées par les derniers petits octaèdres qui les terminent; et il n'y aurait rien de surprenant à ce que la lumière polarisée fût modifiée en traversant ces dentelures, autrement qu'à l'intérieur de la masse; comme il se pourrait aussi, qu'à ces limites des lames octaédriques où le cristal a cessé de croître, la même cause qui a limité son accroissement ait déterminé la formation d'une enveloppe autrement agrégée. Ce sont là des problèmes extrêmement curieux à étudier, parce qu'ils nous fourniraient très-vraisemblablement de précieuses notions sur la nature des actions réciproques exercées entre les molécules constituantes, aux diverses phases de la cristallisation; mais ils ne sauraient être traités occasionnellement. Je me bornerai donc à dire que l'action propre de cette enveloppe sur les rayons polarisés ne m'a pas paru éprouver d'altération, ni même de modification appréciable, lorsque le cube était environné d'une solution saturée de la même espèce d'alun, ayant un pouvoir réfringent peu inférieur à celui de la masse; ce qui prouve que l'action de la couche corticale n'est pas seulement superficielle. En outre, si l'on enlève tout ou partie de cette écorce sur une des faces du cube, en la dissolvant par le contact de l'eau, ou en l'usant en quelque point par la friction, le reste continue d'agir sur cette face même, comme auparavant, ce qui prouve l'indépendance individuelle d'action des éléments agrégés qui la composent. Cette indépendance, pour l'intérieur des cubes, persiste même quand une portion de leur masse est chauffée jusqu'à la fusion. L'action subsiste entière et complète dans les couches que la chaleur n'a pas désagrégées. J'ai trouvé aussi dans les laboratoires de petits cubes d'alun très-réguliers,

qui m'ont paru construits autrement que ceux que je viens de décrire. Ils semblaient visiblement formés par des appositions continues de lames parallèles à leurs faces externes. Malheureusement leur action sur la lumière polarisée n'était pas observable, parce que, soit en vertu de leur composition chimique, soit par suite du temps écoulé depuis leur formation, leurs lames constituantes avaient toutes un état nacré qui les rendait opaques ou à peine translucides. J'aurai plus loin l'occasion de mentionner des cristaux d'alun présentant des faces cubiques associées à des faces octaédriques, et dans lequel les cubiques seules ont pris cet aspect nacré. Il serait sans doute bien intéressant de chercher la cause physique ou chimique d'une modification aussi singulière; mais l'acte de la cristallisation offre ainsi une multitude de questions non moins importantes, qui n'ont pas encore été seulement effleurées.

J'ai dit plus haut avoir rencontré des cristaux d'alun très-limpides qui, bien qu'extérieurement terminés par des faces octaédriques régulières, n'exerçaient sur la lumière polarisée qu'une action nulle ou à peine appréciable, même en les observant combinés avec la lame de chaux sulfatée sensible. Je rapporterai bientôt des épreuves plus décisives encore qui confirment pleinement cette particularité, mais, pour le moment, je m'en tiens à la précédente. Or, en mettant des fragments de ces cristaux en contact avec la potasse caustique, il s'est trouvé qu'ils ne dégageaient aucune trace sensible d'ammoniaque, tandis que tous les cristaux actifs manifestaient notablement la présence de cet alcali. M. Henri Deville a bien voulu constater cette dissemblance par des analyses multipliées, faites avec les procédés les plus délicats

de la chimie, et elle s'est soutenue dans toutes sans exception. Comme j'aurai encore l'occasion de rappeler ces analyses, je me borne à en énoncer ici le résultat général, pour en faire l'application aux cristaux de petites dimensions et d'une action très-faible que je considère en ce moment. Dans ce dessein, j'ai prié M. Pelouze de vouloir bien faire préparer pour moi, avec des matières bien pures, deux dissolutions d'alun, l'une à base d'ammoniaque, et l'autre uniquement à base de potasse, qui, par une précipitation lentement ménagée, pussent fournir des cristaux petits, mais limpides, de ces deux variétés. Il a eu cette complaisance, et l'épreuve chimique des produits qu'il m'a remis a confirmé pleinement leur composition distincte. Quant à l'épreuve optique, voici quels ont été les résultats : tous les cristaux à base d'ammoniaque étaient remarquables par leur limpidité, la netteté de leurs formes, la pureté de leurs faces et la facilité de leur isolement. Tous, malgré leur petitesse, se sont montrés actifs sur le rayon lumineux polarisé. Mais leur mode d'action était généralement complexe, probablement par une conséquence de la multiplicité de leurs systèmes lamellaires invisibles, qu'indiquait la multiplicité des facettes secondaires qui les recouvraient. Les cristaux exempts d'ammoniaque, au contraire, étaient, pour la plupart, maclés et très-aplatis. Les faces supérieures et inférieures qui les limitaient semblaient appartenir à des systèmes lamellaires différents ou intervertis. Le défaut de continuité de leur structure se décelait par la multitude des lignes qui les entrecoupaient, quand on les faisait traverser par la lumière. Ils ne se brisaient pas par lames distinctes, mais par des cassures confuses. Enfin, leur masse, toujours très-aplatie, semblait n'offrir de système

lamellaire un peu distinct que dans le sens des bases octaédriques. Aussi, en les faisant traverser par le rayon polarisé, perpendiculairement à ces bases, aucun d'eux ne se montrait actif; et ils restaient encore tels quand on les faisait traverser dans tout autre sens, même en combinaison avec la lame de chaux sulfatée sensible; pourvu du moins que l'on évitât les positions très-obliques, dans lesquelles ils auraient exercé une action indépendante de leur structure cristalline, comme je le dirai tout à l'heure, illusion dont il faut soigneusement se préserver. Ces résultats étant bien constatés, je les ai rendus manifestes par une disposition d'appareil très-simple, dont les effets m'ont paru frapper tous ceux qui en ont été témoins. J'ai pris trois anneaux de verre, A, B, C, à rebords pleins, ayant chacun sept ou huit millimètres de hauteur, et qui se fermaient à leurs deux bouts par des glaces très-minces, exemptes de tout pouvoir polarisant propre. Ces glaces étant apposées sur leurs rebords, s'y maintenaient par adhérence, ce qui formait autant de petits vases cylindriques à faces parallèles. Après avoir d'abord fixé aux surfaces inférieures les glaces qui leur servaient de fond, j'ai déposé dans A et dans B de très-petits cristaux parfaitement limpides des deux espèces d'alun préparés par M. Pelouze, en les plaçant à côté les uns des autres, autant que chaque surface en pouvait contenir, mais avec l'attention de ne mettre dans chaque vase que des cristaux d'une même nature, savoir : dans A, ceux qui étaient exempts d'ammoniaque, et dans B, ceux qui avaient pour base cet alcali. J'ai pareillement déposé dans C un certain nombre d'octaèdres un peu plus gros, d'une limpidité admirable, qui contenaient aussi de l'ammoniaque, mais en proportion moin-

dre, parce qu'ils provenaient d'une fabrication en grand, où cet alcali n'entrait qu'auxiliairement. J'ai alors rempli chaque vase avec une solution saturée de la même espèce d'alun que les cristaux qu'il contenait; puis je les ai fermés avec leurs obturateurs respectifs, et enfin je les ai interposés successivement dans le faisceau lumineux polarisé, en les combinant avec la même lame de chaux sulfatée sensible employée aux expériences précédentes. Or, leurs effets ont été bien dissemblables; car la couche de cristaux dépourvus d'ammoniaque, contenue dans A, ne produisait sur la teinte propre de cette lame aucune modification appréciable, si ce n'est occasionnellement en quelques points où ils se présentaient précisément par leur tranche au faisceau polarisé, de manière à être traversés suivant une direction excessivement oblique aux faces octaédriques, ce qui est le cas d'exception que j'ai indiqué tout à l'heure, et que je vais expliquer dans un moment. Au contraire, les cristaux de B et de C, qui contenaient plus ou moins d'ammoniaque, se montraient tous actifs sans aucune exception; et l'on voyait leurs surfaces subdivisées en triangles rouges et verts qui les faisaient briller comme autant de rubis et d'émeraudes entremêlés. Indépendamment de l'évidence qu'elle porte avec elle, cette expérience offre un spectacle physique des plus curieux que l'on puisse voir. La solution du vase B, qui était incomplétement saturée, a usé progressivement les petits cristaux de M. Pelouze que j'y avais déposés. Mais même, lorsqu'après un contact de plusieurs semaines, ils se sont trouvés réduits à des épaisseurs moindres qu'un millimètre, ils exerçaient encore une action très-évidente, par laquelle on distinguait parfaitement les petits fuseaux octaédriques qui les constituaient.

Je vais maintenant spécifier le cas d'exception que j'ai indiqué en décrivant ces expériences. Il a pour but de prévenir l'illusion que pourrait causer aux expérimentateurs une action polarisante, bien connue à la vérité, mais qui interviendrait inexactement dans l'étude des phénomènes que nous examinons, si l'on ne prenait soin de l'exclure. Lorsqu'on opère avec des cristaux d'alun, ou même avec de simples fragments lamellaires de ces cristaux, dont l'action polarisante propre est très-faible, on s'aperçoit aisément qu'on peut l'accroître, ou au moins la rendre plus aisément perceptible, en inclinant le plus possible la direction des lames sur l'axe de vision, de manière à augmenter à la fois l'obliquité du rayon sur leur plan, et la longueur du trajet qu'il parcourt à travers leur masse. Or, quand ces fragments ont une épaisseur très-petite, comparativement à leur étendue dans le sens des lames qui les composent, comme cela arrive presque toujours dans des cas pareils, le rayon lumineux, ainsi introduit, pourrait s'y transmettre au moyen de deux réfractions très-obliques, séparées par une ou plusieurs réflexions totales opérées intérieurement sur les faces externes du système incliné. C'est une circonstance qu'il faut éviter soigneusement ; car, d'après une découverte de Fresnel, de pareilles alternatives développent, dans tous les corps quelconques, dans les fluides même, des effets de polarisation dont il a trouvé les lois avec une sagacité incomparable; et selon ces lois, comme selon les expériences, ces effets ressemblent à ceux de nos systèmes lamellaires, en ce qu'ils se rapportent de même aux plans actuels de réflexion et de réfraction, comme aussi en ce que leur réaction sur les lames minces cristallisées modifie leurs teintes propres dans le même sens. Par exemple, si l'on ne songeait pas

à les éviter, on pourrait croire que de petits octaèdres d'alun purement potassique agissent sur la lumière polarisée, parce qu'en les inclinant sur l'axe de vision comme je viens de le dire, ils modifient les couleurs de la lame sensible lorsqu'ils ont des dimensions convenables pour que ces alternatives de réfractions et de réflexions totales puissent s'y opérer. Mais on reconnaît l'illusion en répétant l'expérience sur ces mêmes octaèdres entourés d'une solution d'alun, ou extérieurement enduits d'une couche de cire, car ces modifications du milieu ambiant annullent les changements de teintes que le rayon obliquement transmis produisait; au lieu qu'ils auraient persisté, s'ils eussent été produits par une action intérieure de la masse, comme on voit qu'ils persistent dans les cristaux d'alun ammoniacal, lorsque le rayon est transmis sous une obliquité quelconque à travers leur masse même, à une distance des surfaces externes où le milieu ambiant n'exerce pas d'action sensible. Cette persistance, ainsi que l'énergie des actions que nous verrons bientôt se développer jusqu'à produire immédiatement des couleurs très-vives, sont des propriétés qui caractérisent les effets propres des systèmes lamellaires dont ces cristaux sont composés. Je ne veux pas affirmer pour cela que ces effets soient absolument indépendants de causes analogues, c'est-à-dire, de réfractions et de réflexions totales ou partielles, qui seraient opérées par alternatives infiniment nombreuses entre leurs couches constituantes. Car, sans vouloir non plus les attribuer positivement à ce genre d'action, je rapporterai plus loin des faits qui semblent les en rapprocher par des analogies physiques, peut-être très-profondes. Mais avant de chercher à pénétrer dans leur nature intime, il fallait d'abord les séparer des sim-

ples effets de surface qui peuvent, jusqu'à un certain point, simuler les mêmes apparences, et que je viens de signaler.

Pour achever de fixer nettement le mode de polarisation spécial que les systèmes lamellaires de l'alun exercent, dans l'état de faiblesse où nous venons de les considérer, je vais comparer par une analyse exacte les effets qu'ils produisent, et ceux que produiraient des piles réfringentes à intermittences brusques placées dans des circonstances pareilles. Je commence donc par rappeler les formules par lesquelles les actions de ces dernières s'expriment, en les bornant à leur cas d'application le plus simple, qui suffira pour établir cette comparaison.

La figure 10 est supposée tracée dans un plan normal à un faisceau lumineux blanc complétement polarisé suivant la direction MCM, à laquelle je mène la perpendiculaire HCX. Dans le trajet de ce rayon, l'on interpose une pile de glaces parallèles entre elles, incolores, sans pouvoir de polarisation propre, et séparées seulement les unes des autres par des lames d'air. Enfin l'on place cette pile de manière que son plan de réfraction CL forme avec le plan de polarisation primitif un angle LCM, égal à 45°.

Ces dispositions étant faites, soit L la quantité totale de lumière transmise. Elle se trouvera partagée en deux sens de polarisation distincts. Une partie aura conservé sa polarisation primitive suivant CM; et le reste aura été polarisé par la pile suivant CP, perpendiculaire à CL, conséquemment à 45° de la première direction. Je représente cette portion déviée par $\frac{L}{m}$, m étant un coefficient positif qui ne peut jamais être moindre que 1, et qui deviendrait seulement

égal à 1, si la pile était assez puissante pour polariser suivant CP toute la lumière transmise. Alors la composition du faisceau après sa transmission sera exprimée comme il suit:

1° Une portion $\frac{L}{m}$ polarisée suivant CP.

2° Une portion complémentaire $L\left(\frac{m-1}{m}\right)$ polarisée suivant CM.

Ces faisceaux partiels seront tous deux blancs, puisque les glaces qui composent la pile sont supposées incolores, et sans pouvoir polarisant propre à leur structure intime.

Maintenant, après ce système, et toujours normalement aux rayons transmis, on place une lame mince de chaux sulfatée dont la section principale est dirigée aussi suivant CL. Cette lame, ainsi placée, ne troublera pas l'état du faisceau polarisé suivant CP, parce que cette direction de polarisation se trouve perpendiculaire à sa section principale CL. Mais elle partagera le faisceau polarisé suivant CM en deux parties dont les proportions d'intensité, ainsi que les teintes, dépendront de son épaisseur. Elle en laissera une portion O' dans la direction antécédente de polarisation CM; et elle donnera au reste E' un nouveau sens de polarisation suivant une droite CH, formant avec CL un angle égal, mais de sens opposé, ce qui la rendra perpendiculaire à CM, dans la disposition prescrite. Donc, si nous désignons par L' l'intensité réduite du faisceau total L, après qu'il a traversé cette lame mince, la répartition de ses éléments entre les sens de polarisation divers sera exprimée comme il suit :

1° Un faisceau blanc polarisé suivant CP; intensité $\frac{L'}{m}$;

2° Un faisceau coloré, polarisé suivant CM; intensité O';

3° Un faisceau coloré, complémentaire du précédent, polarisé suivant CH ; intensité E'. Les quantités de lumière O', E' devront être telles qu'on ait en somme $O' + E' = L' \frac{(m-1)}{m}$.

Concevons enfin tout ce système reçu dans un prisme de Nicol, dirigé de manière que la transmission y soit complétement impossible pour toute lumière qui s'y présente préalablement polarisée suivant CM. Les parties de L' qu'il transmettra seront identiquement celles qui composeraient l'image extraordinaire dans un prisme biréfringent, dont la section principale serait dirigée suivant CM même. Ainsi, premièrement la transmission de O' sera nulle, et celle de E' sera totale. Quant au faisceau blanc $\frac{L'}{m}$ qui est polarisé suivant CP, incliné à 45° sur CM, il s'en transmettra justement une moitié. Ainsi, en définitive, la lumière totale L'', transmise à travers le prisme de Nicol, sera composée comme il suit :

1° Un faisceau coloré de la teinte extraordinaire propre à la lame mince, intensité E' ;

2° Un faisceau blanc provenant de CP ; intensité $\frac{L'}{2m}$. On aura donc en somme

$$L'' = \frac{L'}{2m} + E'.$$

L'intensité E' est celle que donnerait la lame mince seule, si elle agissait immédiatement sur un faisceau blanc polarisé suivant CM, et ayant pour intensité $L'\left(\frac{m-1}{m}\right)$.

Il résulte donc de cette analyse que l'interposition de la pile de glaces, avant la lame mince, ne change pas *la nature* de la teinte que celle-ci aurait donnée dans le prisme de Nicol en agissant seule. Mais elle l'affaiblira par la pro-

portion de la lumière blanche $\frac{L'}{2m}$ qu'elle y introduit, laquelle sera d'autant plus considérable que la pile sera plus puissante. Car, la force de la pile augmentant, m se rapproche de 1, ce qui fait croître la portion blanche $\frac{L'}{2m}$; et en même temps diminuer la portion complémentaire $L'\left(\frac{m-1}{m}\right)$, aux dépens de laquelle E' se forme. La limite extrême de cet effet aurait lieu si l'on faisait m égal à 1, ce qui supposerait la pile assez forte pour polariser fixement dans son sens propre toute la lumière qui la traverse. Car alors le faisceau complémentaire $L'\left(\frac{m-1}{m}\right)$ devenant nul, E' serait nul aussi et le faisceau L'' transmis par le prisme analyseur serait complétement blanc; résultat évident de soi-même dans cette supposition, d'après les directions rectangulaires que nous avons attribuées au plan de réfraction de la pile, et à la section principale de la lame mince.

Je considère maintenant le cas où la pile de glaces aurait son plan de réfraction dirigé suivant CP, toujours à 45° de la polarisation primitive CM, mais cette fois rectangulairement à la direction CL de la section principale de la lame mince que nous placerons après.

Alors, en conservant notre notation précédente, la lumière totale L du faisceau blanc qui aura traversé la pile sera composée comme il suit :

1° Une portion polarisée complétement suivant CL; intensité $\frac{L}{m}$;

2° Une portion complémentaire ayant conservé la polarisation primitive suivant CM; intensité $L\left(\frac{m-1}{m}\right)$.

Ces faisceaux seront tous deux blancs.

La lame mince est interposée ensuite, avec sa section principale toujours dirigée suivant CL. Son action ne troublera pas la polarisation du premier faisceau, qui est lui-même polarisé suivant cette section. Mais elle décomposera le second en deux parties, dont une, O′, restera polarisée suivant CM, et l'autre, E′, prendra un nouveau sens de polarisation suivant CH. Nommant donc L′ l'intensité totale de la lumière transmise après avoir traversé la lame mince, elle sera composée comme il suit :

1° Un faisceau blanc polarisé suivant CL; intensité $\frac{L'}{m}$;

2° Un faisceau coloré polarisé suivant CM; intensité O′;

3° Un faisceau coloré complémentaire du précédent, polarisé suivant CH; intensité E′ : avec la condition que l'on ait en somme

$$O' + E' = L'\left(\frac{m-1}{m}\right).$$

Lorsque ce système sera reçu dans un prisme de Nicol, où le passage des rayons polarisés suivant CM sera impossible, la transmission de O′ sera nulle, et celle de E′ sera totale. Quant au faisceau blanc $\frac{L}{m}$, il en passera justement la moitié, puisque son sens de polarisation forme encore ici un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif CM. Ainsi, en nommant L″ la quantité totale de lumière transmise par le prisme, on aura

$$L'' = \frac{L'}{2m} + E'.$$

Cette lumière se composera donc d'une portion colorée de la teinte extraordinaire propre à la lame mince, plus d'une certaine quantité de lumière blanche, d'autant plus abondante que la pile sera plus forte, exactement comme dans la

première position que nous avons attribuée à la pile. Ces résultats du calcul sont confirmés en tout point par l'expérience. Mais, pour les obtenir tels qu'ils doivent être, sans mélange d'actions étrangères à celles que nous avons considérées, il faut y employer des piles formées de glaces bien recuites et très-minces. La première de ces précautions a pour but de leur ôter le pouvoir de polarisation qu'elles auraient acquis par l'état de trempe; et la seconde, d'atténuer par leur minceur les effets des restes de ce pouvoir qu'on n'aurait pu totalement leur enlever.

Maintenant, si l'on compare les phénomènes que nous venons de décrire à ceux que produisent les couches lamellaires des cristaux d'alun, placées dans des positions pareilles, relativement au plan de polarisation primitif, et à la section principale de la lame mince, on y reconnaît une distinction capitale. C'est que la pile de glaces, à intermittences brusques peut seulement affaiblir plus ou moins la teinte extraordinaire E′ propre à cette lame, en la mêlant d'une certaine proportion de lumière blanche, sans en changer la nature; au lieu que les piles cristallines font monter cette teinte E′ d'une certaine quantité e', dans l'ordre des anneaux quand leur plan de réfraction coïncide avec la section principale CL de la lame mince, et la font descendre de la même quantité quand le même plan est perpendiculaire à cette section. Celles-ci agissent donc comme ferait une lame mince cristallisée à double réfraction attractive, dont l'axe serait croisé rectangulairement à la section principale de la lame mince, dans le premier cas, et lui serait parallèle dans le second.

L'analogie de ces piles cristallines avec l'action des lames cristallisées à double réfraction attractive se soutient dans

tous les azimuts autour de l'axe de vision, si on les tourne autour de cet axe, simultanément avec la lame mince de chaux sulfatée, en les maintenant invariablement dans les mêmes positions relatives. Pour faire cette épreuve avec une complète rigueur, j'ai appliqué à l'une des faces de la plaque octaédrique tronquée de la figure 4 un diaphragme opaque, ayant une très-petite ouverture circulaire que je fis répondre au centre d'un des triangles colorés qui apparaissent dans cette lame quand on la fait agir sur un rayon polarisé en combinaison avec la lame mince sensible dont la teinte propre est le gris de lin. Le faisceau transmis par cette ouverture se trouvait alors traverser seulement deux systèmes de piles cristallines, ayant leurs plans de réfraction coïncidents. La plaque ainsi préparée fut portée sur un appareil de polarisation à cercles divisés, muni d'un prisme biréfringent dont la section principale était dirigée dans le plan de polarisation primitif; de sorte qu'il ne s'y formait pas d'image extraordinaire quand cette polarisation n'était pas troublée. Je tournai la plaque d'alun dans un sens tel que le plan de réfraction des piles cristallines coïncidât avec la direction de la polarisation primitive, ce qui conservait la nullité de l'image extraordinaire; et j'y appliquai la lame mince de chaux sulfatée, en dirigeant aussi sa section principale dans le même sens par la même condition. Je la fixai alors sur la plaque d'alun dans cette position, puis je tournai tout le système autour de l'axe de vision. Aussitôt je vis paraître une image extraordinaire, colorée de ce même rouge brillant correspondant à l'épaisseur 21,5—3,5 ou 18, qui s'étendait à toute la projection triangulaire des mêmes piles dans l'observation faite sans diaphragme. Et cette teinte resta de

même nature dans la révolution entière du système, en suivant seulement des périodes d'intensité dont le maximum se trouvait au milieu de chaque quadrans. Je recommençai l'expérience en rendant la section principale de la lame de chaux sulfatée perpendiculaire au plan de réfraction des piles cristallines, et la fixant dans cette position sur la plaque d'alun. Alors, en tournant le système autour de l'axe de vision, il parut une image extraordinaire colorée de ce même vert correspondant à l'épaisseur 21,5 + 3, 5 ou 25 qui s'était montrée dans l'observation analogue faite sans diaphragme; et elle se soutint telle dans toute la révolution du système, en variant seulement d'intensité, non de nature, avec un maximum au milieu de chaque quadrans. Ces effets sont identiques à ceux qu'on aurait obtenus en combinant la lame de chaux sulfatée représentée par le nombre 21,5 avec une autre lame de même nature, correspondant à l'épaisseur 3,5, si, dans le premier cas, on avait croisé leurs sections principales rectangulairement pour obtenir la différence de leurs pouvoirs, et que dans le second on les eût rendues coïncidentes pour avoir leur somme. En ceci donc *les piles cristallines agissent comme une lame mince douée de la double réfraction attractive, dont la section principale serait dirigée perpendiculairement à leur plan de réfraction actuel.* Cette analogie d'action était ici trop importante pour ne pas chercher à la constater en elle-même sans l'intermédiaire d'une lame mince de chaux sulfatée. C'est ce que j'ai fait par les expériences que je vais décrire.

Il a été prouvé depuis longtemps par mes expériences que les lames cristallisées douées de la double réfraction moléculaire, lorsqu'elles sont traversées normalement sous

certaines conditions de minceur par un rayon blanc, polarisé en un sens unique, le décomposent, sans le subdiviser, en deux portions de polarisation diverse, ou du moins qui offrent cette apparence quand leur ensemble est transmis à travers un prisme biréfringent. Si la section principale de la lame mince forme un angle i avec le plan de polarisation primitif, une portion O du rayon transmis par la lame semble avoir conservé sa direction primitive de polarisation; et la portion complémentaire E semble avoir acquis une direction de polarisation nouvelle dirigée dans l'azimut $2i$. Ces deux portions ne sont pas, en général, individuellement composées de lumière blanche. Elles n'acquièrent ce caractère qu'au delà de certaines limites d'épaisseur dépendantes de la nature de la lame et du sens dans lequel elle est taillée, relativement à l'axe unique ou aux deux axes du cristal. Jusque-là, O, E sont des associations de rayons diversement réfrangibles, présentant à l'œil des teintes colorées, dans lesquelles chaque rayon de réfrangibilité fixe prend l'un ou l'autre sens de polarisation, par des intermittences périodiques, correspondantes à des différences constantes d'épaisseur. D'après cela, si le prisme biréfringent qui analyse le rayon transmis, et que je supposerai à un seul axe, a sa section principale dirigée dans l'azimut α autour du plan de polarisation primitif, les deux faisceaux F_o, F_e, ordinaire, extraordinaire, dans lesquels il séparera le rayon transmis, auront leurs intensités et leurs teintes respectives exprimées par les formules suivantes, que j'ai depuis longtemps établies.

$$\begin{aligned} F_o &= O\cos^2\alpha + E\cos^2(2i-\alpha) \\ F_e &= O\sin^2\alpha + E\sin^2(2i-\alpha). \end{aligned} \qquad (1)$$

Quand la section principale de la lame est placée dans l'azimut de 45°, comme nous l'avons fait en général dans nos expériences sur les cristaux d'alun, $2i$ devenant 90°, ces formules se particularisent dans les suivantes

$$(2) \qquad \begin{aligned} F_o &= O\cos^2\alpha + E\sin^2\alpha \\ F_e &= O\sin^2\alpha + E\cos^2\alpha. \end{aligned}$$

Faisons α nul, ce qui met la section principale du prisme biréfringent dans le plan même de la polarisation primitive que la portion O a conservée, on aura alors

$$F_o = O, \qquad F_e = E.$$

Ainsi, dans ces positions relatives de la lame et du prisme, les portions O, E se montreront isolées et complétement séparées l'une de l'autre ; la première entrant tout entière dans l'image ordinaire, la seconde tout entière dans l'image extraordinaire, données par le prisme biréfringent. L'inverse aurait lieu si l'on faisait $\alpha = 90°$, ce qui rendrait la section principale du prisme perpendiculaire au plan de polarisation primitif. Les deux portions O, E se montreraient donc encore complétement séparées l'une de l'autre. Mais ce sont là les deux seules combinaisons par lesquelles on les peut voir ainsi avec leur plus grande distinction. Car pour toute autre valeur de α, elles entrent toutes deux en proportion plus ou moins considérable dans les images F_o, F_e, où leur teinte propre s'affaiblit par leur mélange.

Au contraire, cette mixtion devient complète si $\alpha = 45°$; c'est-à-dire, lorsque le prisme biréfringent a sa section principale dans l'azimut de 45°, conséquemment en coïncidence avec celle de la lame mince. En effet, ayant alors

$$\sin^2\alpha = \cos^2\alpha = \frac{1}{2},$$

les formules (2) donnent

$$F_o = \frac{1}{2}(O + E), \qquad F_e = \frac{1}{2}(O + E).$$

C'est-à-dire que les deux images F_o, F_e, sont alors d'égale intensité, et contiennent chacune la moitié de la lumière totale transmise. Or, les portions O, E, étant complémentaires l'une de l'autre, ces images sont parfaitement blanches comme la lumière transmise elle-même.

Ces deux alternatives extrêmes sont donc très-propres à déceler le mode particulier de décomposition imprimé à la polarisation primitive par la lame cristallisée interposée, et elles le distinguent évidemment d'avec la polarisation qui serait opérée suivant un sens unique. Je me suis appliqué en conséquence à constater si elles s'observaient dans les phénomènes produits par les cristaux d'alun.

J'ai d'abord fait cette vérification, pour la plaque octaédrique à faces artificielles, déjà employée en combinaison avec les lames minces de chaux sulfatée. Mais ici je l'ai fixée seule, sur un appareil muni de cercles divisés, qui permettaient d'amener séparément ses sections principales et celle du prisme biréfringent dans tous les azimuts possibles autour du plan de polarisation primitif du rayon sur lequel elle agissait. Je l'ai exposée à ce rayon sous l'incidence normale, en le faisant passer seulement dans l'espace qu'occupait un des fuseaux octaédriques de la plaque, pour ne lui faire subir qu'un seul mode d'action. Puis, mettant la section principale du prisme dans le plan de polarisation primitif, j'y ai amené aussi celle du fuseau, afin de rendre à la fois nuls α et i, de sorte que le rayon transmis à travers tout le système conservât complétement sa polarisation primitive. Ce point

de départ des angles étant bien fixé, j'ai fait tourner le cercle divisé qui portait la plaque de manière que i devînt 45°, α restant nul; et j'ai vu qu'en effet cette valeur de i donnait au blanc bleuâtre de l'image F_e le maximum d'intensité ainsi que de coloration qu'elle pût atteindre, α restant nul. Ceci reconnu, j'ai tourné le prisme de manière que α devînt aussi 45°, et les deux images F_o, F_e sont alors devenues toutes deux blanches, avec des intensités égales. Ces deux résultats s'accordaient donc à caractériser le mode de polarisation dans l'azimut $2i$, comme pour les lames minces cristallisées ordinaires.

Toutefois, cette épreuve ne me semblait pas assez complète, parce que la faible coloration de E en blanc bleuâtre laissait l'image complémentaire O sensiblement blanche. Je la réitérai donc avec une autre plaque oblongue qui, exposée transversalement au rayon polarisé, produisait des bandes colorées très-vives et bien continues, distribuées parallèlement les unes aux autres suivant sa longueur. Cette plaque avait ses faces latérales inclinées entre elles comme celles de l'octaèdre, de sorte qu'elle semblait avoir appartenu à un cristal de la variété cunéiforme qui se serait extrêmement allongé relativement à son épaisseur. Ayant fait polir ses faces latérales opposées, je lui trouvai une section principale unique, et je pus ainsi l'employer aux épreuves précédentes. Pour cela, je choisis la plus large des bandes qui s'étendaient sur sa surface, quand on la faisait traverser par un rayon polarisé. Cette bande donnait pour E un blanc bleuâtre très-brillant, ayant son complément O d'un orangé très-vif, ce qui offrait ainsi une distinction de teintes tout à fait complète. En répétant alors les deux épreuves ci-dessus expli-

quées, le résultat s'en trouva tout à fait d'accord avec le mode de polarisation dans l'azimut $2i$, que la plaque octaédrique indiquait. Mais cette fois les indications caractéristiques étaient incomparablement plus évidentes. J'ai répété depuis cette observation avec d'autres plaques octaédriques, dont l'action était beaucoup plus énergique que celle de la figure 4, et elles m'ont toujours présenté les mêmes phases d'action.

§ II.

Sur le pouvoir polarisant des cristaux d'alun, considéré dans son état de développement le plus énergique.

Les phénomènes de polarisation produits par les systèmes lamellaires que nous avons jusqu'ici étudiés, ne dépassaient point, et n'atteignaient pas même complétement la première période d'intermittence que ce genre d'action peut habituellement imprimer aux éléments lumineux de toutes les réfrangibilités. Cette limitation des effets observés facilitait la recherche de leurs lois générales, en les séparant des inégalités que la diverse nature des rayons peut y introduire. Ayant ainsi reconnu le sens, et le mode commun de polarisation, que tous ces rayons éprouvent en traversant les systèmes lamellaires de l'alun, nous n'avons plus qu'à suivre le développement ultérieur des impressions qu'ils reçoivent, sous l'influence des actions de même nature, lorsqu'elles sont devenues plus énergiques. Tel est l'objet des expériences que je vais rapporter.

Elles auraient été impossibles avec les cristaux que l'on peut se procurer dans les laboratoires. Car, outre qu'ils sont

presque toujours d'un très-petit volume, et imparfaitement limpides, leur configuration cristalline n'est bien souvent qu'une enveloppe qui cache une structure intérieure irrégulière et discontinue. Toutes ces circonstances conspirent pour rendre leurs effets d'une extrême faiblesse. Heureusement, la seule expression de l'intérêt scientifique qui s'attachait à ces recherches m'obtint le secours de deux personnes, avec lesquelles je n'avais eu jusque-là aucun rapport. M. Monod, négociant de Paris, voulut bien me mettre en relation avec M. Gautier, manufacturier à Quessy, près la Fère, son correspondant et son ami. Par suite de cette intervention efficace, M. Gautier, avec une obligeance dont je ne puis assez le remercier, m'envoya, de ses propres fabriques, une immense collection de cristaux d'alun, de toutes dimensions, parfaitement transparents, et offrant une telle variété de groupements, de formes, ainsi que d'accidents intérieurs, qu'on y trouvait tous les éléments d'une étude complète dont je vais exposer les résultats.

Dans ces grandes fabrications, les dissolutions salines amenées aux conditions de concentration et de température que l'expérience a fait connaître pour les plus favorables, sont versées dans de vastes cuves métalliques, où elles sont abandonnées pendant plusieurs semaines à l'acte spontané de la cristallisation. Il se dépose d'abord sur les parois une croûte épaisse et massive, imparfaitement translucide, toute composée d'éléments cristallins confusément agglomérés. Néanmoins, si l'on détache une portion de cette croûte, et qu'on la scie parallèlement aux parois de la cuve, on y découvre déjà des traces de joints, imparfaits à la vérité, mais décidés pourtant, qui s'entre-croisent suivant toutes les directions

de sections octaédriques; comme si la masse éprouvait une tendance à se partager en segments cristallins distincts, séparés les uns des autres par des surfaces de jonction pyramidales, perpendiculaires à leur base commune, et disposés à croître individuellement par leurs propres attractions. Plus tard, et à mesure que la solution liquide environnante se trouve moins chargée, un certain nombre de ces systèmes partiels devenus prédominants se séparent les uns des autres, arrêtent par leur expansion propre ceux qui leur étaient intermédiaires, et commencent à croître isolément avec régularité. On voit alors surgir de chacun d'eux, des systèmes de lames superposées, distinctement visibles, inclinés entre eux suivant toutes les directions, mais individuellement construits conformément aux conditions octaédriques, lesquels se simplifiant encore, en continuant de croître, finissent par se joindre et se souder intimement, de manière à former des agrégations polyédriques terminales d'une parfaite limpidité. Ce mode de génération simultané diffère donc essentiellement de celui que l'on a coutume de considérer comme le plus habituel dans la cristallographie théorique, où l'on suppose que chaque cristal de dimension finie, dérive physiquement d'un embryon central infiniment petit, déjà configuré d'une manière tout à fait semblable, lequel s'est progressivement accru par l'apposition successive de couches cristallines parallèles à ses diverses faces, et d'une étendue proportionnelle, ou occasionnellement restreintes dans leur expansion, suivant des conditions de correspondance déterminées par la symétrie de l'embryon lui-même (1). Ici, de la

(1) Haüy a toujours conçu ainsi la génération physique des cristaux

couche massive, et confusément agrégée, on voit sortir comme d'une gangue commune, une multitude de protubérances cristallines, présentant toutes les modifications de l'octaèdre; les unes terminées en une pointe aiguë parfaitement pyramidale, ayant ses arêtes vives, ou tronquées suivant les faces du dodécaèdre; d'autres également pyramidales, mais tronquées à leur sommet suivant une face cubique perpendiculaire à leur axe; d'autres enfin ayant pris l'aspect cunéiforme par l'expansion prédominante de deux faces opposées de l'octaèdre, et se terminant ainsi à leur sommet en une arête de toit, vive, ou tronquée en forme de rectangle. Malgré l'infinie diversité de direction, d'apposition, et même de

---

de dimension finie. Il la présente déjà de cette manière dans son premier ouvrage publié en 1784 et intitulé *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux.* Voyez p. 55, 207, 208 et 211. Il a conservé la même notion dans son Traité de cristallographie publié en 1822, et il l'y expose en détail dans son chapitre spécial intitulé: *De la manière dont l'accroissement se combine avec la structure,* tome I, p. 224. Cette idée, sans doute, paraît évidemment réalisée dans beaucoup de cas, où les couches d'accroissement similaires au noyau central, se voient manifestement apposées autour de lui. Mais on ne peut plus concevoir ainsi les cristaux qui résultent de la rencontre de lames sorties de points divers d'une même masse, et soudées entre elles de manière à former un polyèdre cristallin régulièrement configuré. Néanmoins, dans ce cas même, et dans plusieurs autres que j'aurai occasion de signaler, la continuité de formation des lames combinées, et la régularité de leur association, semble supposer la préexistence de forces physiques qui déterminent leur accroissement individuel suivant une loi de configuration fixée dès leur naissance, laquelle ne s'arrête qu'au moment de leur mutuelle rencontre, où elles agissent alors simultanément sur les molécules encore liquides du milieu qui les sépare, et se les approprient de manière à en former leur surface de jonction.

pénétration que présente cet amas de masses cristallines, les inclinaisons mutuelles de leurs faces terminales sont toujours rigoureusement celles qui appartiennent à l'octaèdre régulier ou à ses dérivations symétriques, telles que le cube et le dodécaèdre à plans rhombes; résultat important que M. la Provostaye a constaté par des mesures précises effectuées sur ces produits mêmes dont je lui avais remis des échantillons. Seulement les troncatures dodécaédriques des arêtes pyramidales ne m'ont pas paru réalisées sur chaque protubérance cristalline, avec l'exacte correspondance que les minéralogistes supposent devoir toujours exister dans un cristal isolé, engendré par un embryon symétrique; et qu'en effet l'on observe habituellement dans les minéraux cristallisés. Mais aussi le mode de génération simultané, par lequel les pyramides terminales d'alun surgissent de leur masse basique commune, semble ne pas exiger, ni même devoir entraîner habituellement, une semblable relation de symétrie entre des faces distantes, nées indépendamment les unes des autres.

Si l'on détache de ces groupes cristallins d'alun un fragment quelconque plus ou moins volumineux, qui soit transparent, ou seulement translucide, et qu'on étudie la transmission de la lumière polarisée à travers sa masse, au moyen de l'appareil général décrit figure 2, on voit généralement toute sa surface de projection parsemée de taches et de bandes colorées, dont la distribution et les teintes sont évidemment en rapport avec la configuration de ses systèmes lamellaires, avec leur étendue, leur épaisseur suivant l'axe de vision, et l'obliquité sous laquelle ils se présentent occasionnellement aux rayons transmis. Les nuances de ces couleurs, dans leur

développement, ne sont ni moins variées ni moins brillantes que celles des lames minces cristallisées douées de la double réfraction moléculaire. Mais en les considérant ainsi dans les masses, on ne saurait dire si elles sont composées ou non de la même manière, ni quelles sont leurs relations exactes avec les systèmes lamellaires qui les produisent; et pour démêler leur complication, le premier pas à faire, c'est de chercher à étudier leur développement par un seul de ces systèmes, observé, s'il se peut, isolément.

Les grosses protubérances pyramidales, que j'ai tout à l'heure décrites, offrent des conditions particulièrement favorables pour cette épreuve. Car leurs pans latéraux montrent toujours avec évidence les traces des systèmes lamellaires dominants qui les constituent; et, près des surfaces externes surtout, ces systèmes acquièrent une étendue, une continuité, une limpidité, qui leur donnent tous les caractères désirables pour étudier la spécialité de leur action. Il ne reste donc qu'à extraire les pyramides de leur masse basique sans les rompre, puis à séparer leurs systèmes lamellaires superficiels par le clivage naturel, ou par un rodage intérieur, et enfin à les polir extérieurement. A la vérité, on ne peut pas s'attendre que les plaques ainsi préparées contiendront un système lamellaire rigoureusement unique, dirigé parallèlement à leurs faces externes. Car leur masse reste toujours plus ou moins nettement séparable suivant les directions transversales des autres clivages octaédriques; et leur structure lamellaire dans ces sens-là, quoiqu'invisible aux yeux, peut bien aussi n'être pas tout à fait sans action sur la lumière polarisée. Mais nos expériences précédentes nous ayant indiqué que, toutes choses égales d'ailleurs, le pouvoir pola-

risant d'un système lamellaire croît avec la longueur du trajet que la lumière y parcourt, nous affaiblirons cet inconvénient inévitable, en amincissant assez nos plaques pour que l'action propre des systèmes transverses puisse être présumée insensible, comparativement à celle du système principal, plus étendu, qui est dirigé dans leur plan. Et enfin, l'expérience même nous apprendra que nous sommes suffisamment approchés de cette condition, si les plaques amincies exercent sur la lumière polarisée une action sensiblement constante quand on les tournera dans leur propre plan, sous une obliquité constante à l'axe de vision.

J'ai donc préparé plusieurs de ces plaques parallèles aux faces pyramidales, avec toutes les précautions que je viens d'indiquer; puis je les ai introduites dans mon appareil général, et j'ai étudié leurs effets sur le faisceau polarisé transmis. J'ai d'abord constaté qu'elles ne modifiaient pas sensiblement le rayon polarisé, lorsqu'il les traversait sous l'incidence normale; et pour en avoir la certitude, je ne les ai pas seulement étudiées ainsi à l'état isolé, mais en les combinant avec la lame de chaux sulfatée sensible. A la vérité, il est rare d'en obtenir qui résistent complétement à cette dernière épreuve, par laquelle on découvre les plus faibles traces d'activité de leurs systèmes transverses. Même, lorsque la plaque observée comprend toute l'étendue d'une face pyramidale du cristal dont elle est extraite, on voit toujours de pareilles traces se manifester près de ses bords, qui sont alors des portions des autres faces naturelles, près desquelles les systèmes lamellaires propres à ces faces acquièrent une activité spéciale. Mais, en observant la transmission vers les parties les plus centrales des plaques pour

éviter cette circonstance, et les extrayant de grandes pyramides où les systèmes parallèles à chaque face paraissent s'étendre avec le plus de continuité, on parvient à en obtenir dont l'action sous l'incidence normale est inappréciable même avec la lame de chaux sulfatée sensible, et qui, étant observées sous les incidences obliques où cette action se développe, n'y produisent encore que des inégalités de teintes négligeables, quand on les tourne dans leur propre plan, en les maintenant sous une même obliquité. On peut alors, avec de pareilles plaques, étudier le mode d'action que le système lamellaire dominant, parallèle à leur surface, exerce *isolément* sur la lumière polarisée; et l'on retrouve les caractères de cette action exactement tels que nous les avions conclus des observations faites avec les octaèdres entiers, où plusieurs systèmes semblables agissaient simultanément, mais suivant des sens distincts en diverses parties de la masse totale. Même, lorsque la plaque est d'une constitution bien uniforme, et qu'elle a seulement trois ou quatre millimètres d'épaisseur, ces caractères deviennent plus manifestes qu'avec les plus beaux octaèdres complets des laboratoires. Car, en la supposant toujours combinée avec la même lame de chaux sulfatée sensible, elle pourra, par exemple, faire descendre les teintes résultantes par addition jusqu'au vert bleuâtre dans le troisième ordre d'anneaux, et les faire remonter par soustraction dans le second ordre jusqu'au rouge jaunâtre; amplitude plus grande que je ne l'ai observée avec aucun de ces octaèdres.

Pour suivre ces phénomènes sous des incidences encore plus obliques aux lames constituantes, j'ai choisi une de ces plaques, très-régulière, qui, observée dans l'air, modifiait

les teintes propres de la lame sensible, dans les limites d'amplitude que je viens d'indiquer. Je la désignerai désormais par A. Après l'avoir bien étudiée dans l'air, je l'ai introduite dans un tube fermé par des glaces minces, en l'entourant d'une solution saturée de la même espèce d'alun. Elle y était fixée à l'extrémité d'une tige de métal qui pénétrait du dehors dans l'intérieur du tube, et que l'on pouvait faire tourner sur elle-même par son prolongement extérieur, de sorte que je pouvais ainsi diriger progressivement la plaque sous toutes les obliquités à l'axe de vision, dans le milieu qui l'environnait, lequel, par l'influence de son pouvoir réfringent, permettait au rayon polarisé de s'y introduire plus directement qu'en sortant de l'air. Or, en effet, par cet artifice, elle imprima à la lame sensible des variations de teintes bien plus étendues que précédemment. Car, sous les mêmes extrêmes d'obliquité, la teinte résultante descendit par addition jusqu'à un jaune verdâtre du troisième ordre d'anneaux, exprimé dans la table de Newton par $21{,}5 + 5{,}25 = 26{,}75$; et elle remonta par soustraction dans le second ordre jusqu'à un autre jaune exprimé par $21{,}5 - 5{,}25$ ou $16{,}25$. Cela montrait donc que, sous ces grandes obliquités, la plaque, environnée de son milieu réfringent, enlevait à la polarisation primitive une somme d'éléments lumineux composant une teinte blanche sensiblement équivalente au blanc du premier ordre. Je confirmai ce fait de deux manières : d'abord, en la faisant réagir par croisement sur une lame mince de chaux sulfatée ayant pour teinte extraordinaire propre à très-peu près ce blanc même, qu'elle détruisit en le ramenant tout entier à la polarisation primitive, lorsque j'eus accru convenablement son obliquité; puis, en la faisant traverser,

ainsi inclinée, par un rayon blanc polarisé par réflexion, et analysant la lumière transmise au moyen d'un prisme doublement réfringent achromatisé. Car je pus voir ainsi que la portion sensiblement blanche, enlevée par la plaque à la polarisation primitive, avait pour complément un rouge orangé très-sombre et d'une très-faible intensité ; caractères qui le rapprochaient du noir, complémentaire du blanc total dans le premier ordre d'anneaux. On se rappellera d'ailleurs, qu'en assimilant les teintes produites par les systèmes lamellaires à celles des anneaux de Newton, j'ai seulement voulu en donner un énoncé commode, et suffisant pour les premières époques de leurs intermittences. Mais il se pourrait que la dissemblance de leurs lois avec celle des anneaux, devînt sensible dès le commencement même de ces périodes, dans l'épreuve excessivement délicate que je viens en dernier lieu d'indiquer.

La plaque A sur laquelle j'ai fait les expériences précédentes avait quatre millimètres d'épaisseur. Ce ne sont pas toujours les plus épaisses qui se montrent ainsi les plus énergiques. La continuité plus ou moins parfaite de leur système lamellaire, et son tissu par couches plus ou moins serrées, influe évidemment sur l'intensité absolue de leurs effets. Mais les lois générales de ces effets sont les mêmes, pour toutes celles où le système lamellaire parallèle aux surfaces est seul sensiblement actif. Alors l'action résultante s'exerce toujours autour du plan de réfraction actuel, comme ferait une lame mince à double réfraction attractive, dont la section principale serait perpendiculaire à ce plan. Son énergie croît avec l'obliquité du système lamellaire sur le rayon transmis, et avec la longueur du trajet que ce rayon

y parcourt. Enfin, dans chaque plaque, elle atteint son maximum, lorsque le rayon polarisé est transmis suivant les lames mêmes, et elle reste finie même dans ce cas. Par exemple la plaque A, dont j'ai décrit spécialement les effets, étant observée ainsi par sa tranche, soit à travers l'air, soit à travers la solution d'alun saturée, développait immédiatement avec le rayon polarisé de très-vives couleurs, sans l'intermédiaire de la lame sensible; et ces couleurs s'étendaient dans tout l'intérieur de sa masse; de sorte que, tant par cette circonstance, que par la présence du milieu liquide qui l'environnait, on était parfaitement assuré qu'elles étaient produites par une action propre des lames intérieures, indépendamment de toute influence attribuable aux surfaces externes qui les renfermaient.

Lorsque deux plaques planes formées ainsi d'un seul système lamellaire dominant, parallèle à leurs surfaces, sont exposées simultanément à un même faisceau polarisé qui les traverse en succession toutes deux, elles agissent par concordance quand leurs plans de réfraction actuels sont parallèles, et par opposition quand ils sont croisés à angles droits; précisément comme feraient deux lames minces cristallisées, exerçant une double réfraction moléculaire de nature semblable, qui auraient leurs sections principales respectivement dirigées dans les mêmes positions relatives. Ce résultat était une conséquence bien présumable de leur mode d'action individuel déjà reconnu; mais son importance pour ce qui va suivre m'a engagé à le constater par des expériences directes.

Ayant choisi une de ces plaques que je désignerai par B, je l'ai fixée dans un anneau de métal à l'extrémité d'une tige

tournante qui permettait de l'incliner à volonté sur le plan de l'anneau; et, lui ayant donné une très-grande obliquité, je l'introduisis avec son support dans le trajet du rayon polarisé de mon appareil, en tournant son plan de réfraction dans un sens tel qu'il formait un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif. La plaque ainsi inclinée enlevait à la polarisation primitive un faisceau blanc bleuâtre, intermédiaire entre le bleu et le blanc du premier ordre d'anneaux; de plus, en l'éprouvant sous des inclinaisons de cet ordre avec la lame de chaux sulfatée sensible, je m'étais bien assuré que son action restait sensiblement constante quand on la tournait dans son propre plan, de sorte qu'on devait légitimement la considérer comme s'exerçant autour du plan de réfraction actuel. Je pris alors la plaque A précédemment employée et encore renfermée dans son tube à tige tournante, au milieu d'une solution d'alun de même nature qu'elle; puis, ayant mis son plan de réfraction en coïncidence avec celui de la lame B, je l'inclinai progressivement sur le rayon polarisé, de manière à les faire agir toutes deux ensemble sous cette condition. Le faisceau enlevé à la polarisation primitive devint d'abord plus blanc et plus abondant en lumière qu'il ne l'était avec la seule plaque B. Ensuite il descendit jusqu'à un jaune pâle, mais d'une nuance cependant fort sensible, lequel avait pour complément un bleu violacé très-beau et fort sombre. Je constatai ce dernier caractère, en recevant toute la lumière transmise dans un prisme doublement réfringent achromatisé, qui faisait voir distinctement le mode de partage qu'elle subissait. La concordance des actions, dans cette situation relative des deux plaques, étant ainsi prouvée, je tournai le tube qui contenait

A, de manière que le plan de réfraction de celle-ci devînt au contraire perpendiculaire à celui de la plaque B. Alors le faisceau résultant, enlevé à la polarisation primitive, se trouva d'abord fort affaibli ; et en variant convenablement l'inclinaison de A, je parvins à le faire totalement disparaître, de manière que toute la lumière qui avait traversé le système des deux plaques avait repris la polarisation primitive comme si elles n'eussent pas existé. Mais, en inclinant davantage la plaque A, on voyait de nouveau reparaître une image blanche bleuâtre, produite par son action devenue prédominante.

Les deux épreuves effectuées ainsi alternativement peuvent être réunies dans une expérience unique qui en montre les résultats d'un seul coup d'œil. J'avais une plaque octaédrique taillée artificiellement comme celle de la figure 4, mais plus puissante ; car ses fuseaux enlevaient à la polarisation primitive une teinte d'un blanc brillant qui atteignait presque le blanc total du premier ordre, si même elle ne le dépassait. Aussi, en la combinant avec une lame de chaux sulfatée dont la teinte extraordinaire était ce même blanc, ceux des segments qui, agissant en concordance dans l'azimut commun de 45° autour du plan de polarisation primitif, donnaient pour résultante un jaune orangé très-vif ; et ceux qui agissaient par opposition dans l'azimut rectangulaire devenaient sensiblement noirs ; de sorte que toute la portion de lumière qui les traversait, en succession avec la lame mince, était ramenée à la polarisation primitive. Or, on obtenait exactement les mêmes effets, en remplaçant cette lame mince par la plaque A, entourée de la solution alunée, et tournée aussi de manière que son plan de réfraction for-

mât un angle de 45° avec la direction de la polarisation primitive. Il ne fallait pour cela que l'incliner convenablement sur l'axe de vision, au moyen de sa tige tournante. Alors les deux fuseaux octaédriques dont la section principale était perpendiculaire à son plan de réfraction, perdaient graduellement de leur éclat et finissaient par devenir noirs; tandis que les deux autres dont la section principale coïncidait avec ce même plan, croissaient graduellement en lumière et finissaient par devenir d'un jaune orangé.

L'ensemble de ces résultats confirme donc pleinement la proposition énoncée plus haut, savoir : que les systèmes lamellaires simples, agissant en succession sur un même faisceau polarisé, opèrent par concordance quand leurs plans de réfraction sont parallèles, et par opposition quand ces plans sont croisés à angles droits. Cette concordance et cette opposition doivent d'ailleurs toujours être conçues comme s'appliquant aux alternatives réelles de polarisation que les systèmes dont il s'agit impriment aux éléments lumineux de chaque réfrangibilité, d'après leurs lois propres d'action. Car, ainsi que je l'ai expressément remarqué, l'assimilation que j'en ai faite aux anneaux colorés était seulement une appréciation approximative qui suffisait pour exprimer les premières périodes de leurs intermittences, mais qui pourrait très-bien s'écarter totalement de la vérité après des intermittences plus nombreuses. Cette réserve est d'autant plus nécessaire, qu'en plaçant ainsi en succession plusieurs plaques octaédriques, et les faisant agir simultanément sur un même faisceau lumineux polarisé, on leur voit produire immédiatement, sans l'intermédiaire d'aucune lame mince, des couleurs très-vives, dont je serais loin de vouloir assigner la composition. Mais, dans

toutes les variétés de leur développement, l'action concordante ou opposée des plans de réfraction se manifeste constamment avec évidence, telle que je viens de la définir, pour tous les systèmes lamellaires dominants, dont l'existence s'y décèle par leur pouvoir individuel isolément observé.

Ces phénomènes d'opposition et de concours, ainsi opérés entre des plaques d'alun où un seul système lamellaire domine, montrent que l'effet produit par un cristal total, ou par un quelconque des fragments qu'on en peut extraire, doit être une résultante d'actions exercées pendant le trajet du rayon lumineux, par tous les systèmes lamellaires visibles ou invisibles, que la configuration de la molécule intégrante permet de concevoir mathématiquement réalisables en chacun des points de ce trajet. Si tous les clivages de même ordre, considérés ainsi théoriquement, appartenaient à des systèmes lamellaires exactement identiques entre eux, pour la continuité, la régularité, et l'intimité d'apposition de leurs lames constituantes, l'effet total produit par leur ensemble sur un rayon polarisé transmis, serait nul, dans un système cristallin octaédrique, parce qu'il y aurait toujours compensation entre les sections rectangulaires que l'on y pourrait concevoir (1). Mais une telle égalité de constitution doit

(1) Quoique cette proposition soit presque évidente d'elle-même, il ne sera peut-être pas inutile d'en donner ici la démonstration géométrique, ne fût-ce que pour bien fixer l'interprétation qu'on doit lui donner, ainsi que la manière dont elle se réalise. Concevons un filet rectiligne d'éléments lumineux, infiniment délié, polarisé en un seul sens et traversant une masse diaphane appartenant au système cristallin octaédrique. Sur le trajet de ce rayon choisissons un point quelconque. On pourra

être difficilement réalisable dans toute l'étendue d'un cristal d'alun de quelque épaisseur. Si elle se trouve détruite en quelque point du trajet du rayon, par la prédominance d'un système lamellaire assez continu, comme assez intime, pour agir sensiblement sur la lumière polarisée qui traverse ses lames, les modifications produites par cette influence persisteront après que le rayon sera sorti du système dont il s'agit; et si elles ne sont pas ultérieurement compensées par d'autres exercées dans des sens rectangulaires, le rayon, après être tout à fait sorti de la masse cristallisée, les portera dans l'air où elles deviendront perceptibles par les procédés que nous avons décrits.

---

faire passer par ce point huit directions de clivage respectivement parallèles aux huit faces de l'octaèdre générateur; et parallèlement à chacune d'elles on pourra concevoir une infinité de plans, subdivisant la masse totale en autant de systèmes lamellaires distincts, dont les plans de réfraction individuels s'entrecouperont par couples rectangulairement, de sorte que le rayon devra être censé épouver simultanément le pouvoir de polarisation qu'ils exercent. Ce sont là les systèmes de sections que j'appellerai du premier ordre. Or, si l'on suppose leur mode d'apposition également intime et similaire pour chacun d'eux, il est évident que leurs actions se compenseront mutuellement par couples, d'après les expériences que j'ai rapportées. Maintenant, par le même point que nous avons considéré, menons un autre plan de clivage, formant un angle dièdre quelconque avec un des plans principaux ainsi définis, et qui sera dirigé, par exemple, suivant une section dodécaédrique. D'après la constitution symétrique de la masse cristalline, il devra y avoir un plan pareil correspondant à chaque plan principal de clivage; ce qui donnera en tout huit directions de coupe, constituant idéalement autant de systèmes lamellaires de même ordre, qui s'entrecouperont encore deux à deux rectangulairement, et que j'appellerai systèmes secondaires. Si on les suppose aussi

Or, en examinant les cristaux d'alun qui exercent des modifications pareilles, on reconnaît en effet avec évidence qu'ils sont toujours composés ainsi de systèmes lamellaires distincts, diversement dirigés dans leur masse totale, où chacun se montre dominant en un certain sens exclusivement aux autres. J'ai déjà exprimé ce fait en parlant des petits cristaux octaédriques ou cubiques des laboratoires; mais sa généralité devient bien plus manifeste quand on étudie l'intérieur des cristaux de toute forme qu'on obtient dans les grandes fabrications. Par exemple, examine-t-on des pyramides octaédriques ayant leurs faces égales et non tronquées à leur sommet? On pourra y voir, non pas seu-

---

individuellement similaires les uns aux autres dans leur mode d'apposition, leurs actions polarisantes propres se compenseront encore mutuellement par couples, et le rayon transmis n'en éprouvera aucune modification finale dans la direction de polarisation de ses éléments. Mais cette direction sera troublée, si cette exacte identité n'a pas lieu ainsi, en chaque point de la masse cristalline, pour tous les systèmes lamellaires de même ordre que l'on y pourra théoriquement concevoir. La même démonstration s'applique à toutes les masses cristallines homogènes, appartenant au système cristallin que l'on appelle régulier. Car, d'après la définition de ces masses, elles sont constituées similairement autour de trois droites rectangulaires entre elles, que l'on peut mener en chacun de leurs points, parallèlement à certaines directions déterminées. De sorte que si l'on y suppose un système de sections planes, inclinées comme on voudra sur deux de ces droites, considérées comme axe de coordonnées, il y aura toujours un autre système de sections de même ordre qui sera rectangulaire à celles-là; et ainsi, lorsque ces systèmes rectangulaires se trouveront pareillement similaires dans leur mode d'apposition, leurs actions polarisantes se compenseront par couples, comme dans le système octaédrique que nous avons considéré d'abord.

lement à l'extérieur vers la base, mais souvent à l'intérieur même, des lames distinctes, dirigées parallèlement aux faces latérales, configurées en triangles équilatéraux comme ces faces même, et se réunissant déjà quatre à quatre par leurs sommets dans l'axe de la pyramide totale, comme si elle était entièrement formée de couches pyramidales apposées les unes sur les autres. Dans d'autres cristaux, deux des faces opposées de la pyramide sont-elles plus allongées que les autres parallèlement à leur base, de manière à se réunir en arête de toit, que je supposerai d'abord vive et non tronquée? Ce sera la variété appelée cunéiforme. Alors on apercevra fréquemment des lames intérieures parallèles aux grandes faces, et non plus triangulaires, mais déjà trapézoïdales comme ces faces mêmes, ce qui indique un mode d'accroissement par couches semblables entre elles comme dans le cas précédent. J'exclus ici le cas des troncatures faites perpendiculairement à l'axe des pyramides, soit régulières, soit cunéiformes, parce que j'aurai tout à l'heure l'occasion d'y revenir plus en détail. Mais on observe fréquemment un autre genre de troncature qui s'opère sur les arêtes latérales des pyramides, suivant les faces du dodécaèdre. Ce ne sont quelquefois que de très-petits plans à peine perceptibles, tandis que d'autres fois ils sont remarquablement larges, et aussi inégalement larges sur les différentes arêtes d'une même pyramide. Ces indices décèlent autant de systèmes lamellaires intérieurs, parallèles aux faces dodécaédriques, et s'étendant plus ou moins profondément dans la masse totale du cristal. On les y voit souvent tracés en lames distinctes, parallèles à la face dodécaédrique externe, et déjà configurés comme elle en rectangle allongé. Mais la largeur de ces la-

mes, par conséquent celle du système lamellaire dodécaédrique qu'elles constituent, est loin d'être décélée par celui de la facette extérieure. Elle est quelquefois plus grande, quelquefois moindre; ce qui fait que le système de ces lames pénètre plus ou moins profondément dans la masse totale. On ne finirait pas de décrire les modifications de toute sorte qui peuvent s'observer ainsi dans ces cristaux. Mais je me bornerai aux précédentes comme exemples, parce que la lumière polarisée nous donnera tout à l'heure un moyen aussi simple que sûr pour pénétrer dans toutes les particularités de leur structure. Il me suffira ici d'avoir prouvé matériellement leur composition par des assemblages de systèmes lamellaires distincts parallèles aux diverses modifications de l'octaèdre, lesquels peuvent s'accoler, se joindre, se pénétrer mutuellement; et, en vertu de leurs actions propres, ainsi que combinées, imprimer à la lumière polarisée qui traverse leur ensemble, des modifications complexes dont il sera très-important, mais sans doute très-difficile, de fixer les lois.

Cette espèce de dissection des cristaux actifs d'alun va nous servir utilement pour découvrir les sens de coupe suivant lesquels il est généralement le plus facile de manifester leur action sur les rayons lumineux. Prenons d'abord une pyramide, ou une portion de pyramide octaédrique, à arêtes vives; et considérons deux faces limpides contiguës à une même arête. Il y aura généralement un système lamellaire parallèle à chacun de ces faces, lequel dominera jusqu'à une certaine profondeur; et si cette portion de la masse est intérieurement construite d'une manière régulière, ces deux systèmes devront se rejoindre intérieurement, suivant

un plan qui divisera l'angle dièdre des faces en deux parties égales. Menons alors deux plans coupants perpendiculaires à l'arête commune, de manière à en extraire une plaque artificielle perpendiculaire à cette arête et de la plus grande épaisseur possible; puis portons cette plaque dans notre appareil général, fig. 2, et faisons-la traverser normalement par le faisceau polarisé. Elle se trouvera dans les conditions les plus favorables pour manifester les actions individuelles des systèmes lamellaires parallèles à chacune des faces naturelles de la pyramide. Car d'abord le faisceau lumineux traversera ces systèmes, suivant la direction de leurs lames mêmes, ce qui leur donnera leur maximum d'énergie individuelle. Il ne restera donc qu'à tourner successivement le plan de chacun d'eux autour de l'axe de vision normal, de manière que son plan fasse un angle de 45° avec le plan de polarisation primitive; et l'on obtiendra dans le prisme de Nicol l'image la plus vive que puisse donner ce système-là. Mais on peut encore observer presque aussi bien les effets de tous deux d'un seul coup d'œil, en rendant la surface de section perpendiculaire au plan de polarisation primitif, comme je l'ai représenté fig. 11 et 12; et cela offrira l'avantage de pouvoir apprécier la correspondance des deux systèmes, ainsi que les phénomènes spéciaux qui se produisent dans leur surface de fonction. Pour comprendre ce résultat, il faut se rappeler que les deux faces octaédriques qui se coupent ici dans l'axe de vision, font entre elles un angle dièdre égal à 109° 28′ 16″. Les deux systèmes lamellaires qui leur sont respectivement parallèles, se croisent donc sous cette même inclinaison; et ainsi en supposant leur disposition régulière, ils formeront un angle de 54° 44′ 8″ avec le

plan de jonction qui les limite. Donc, si nous dirigeons ce plan perpendiculairement à la direction de la polarisation primitive, comme le représentent les figures, les lames des deux systèmes formeront, avec cette même direction, des angles supplémentaires égaux entre eux, et à $\pm 35^\circ\ 15'\ 52''$, l'inversion du signe indiquant leur sens opposé l'un au-dessus, l'autre au-dessous de la ligne de jonction commune devenue ici horizontale. Alors, en leur appliquant les lois habituelles des intensités des images extraordinaires données par les lames minces à double réfraction, ces intensités, pour chaque système, seront à la vérité moindres que s'il était dirigé dans l'azimut spécial de 45°. Mais d'après la proportion du carré des sinus, les images ainsi observées auraient encore plus que les $\frac{10}{19}$ de leur maximum d'éclat, et leur apparition simultanée dédommagera bien de cet affaiblissement (1). L'expérience confirme pleinement toutes ces prévisions, comme le montrent les fig. 11 et 12 faites d'après des plaques qui avaient été taillées et disposées comme je viens de le dire. Leurs épaisseurs étaient fort différentes. Celle de la fig. 11 était seulement 18^{mm}; celle de la fig. 12 dépassait 74^{mm}. Cette dernière avait

(1) Je n'emploie ici la loi du carré du sinus, que comme ayant une application vraisemblable, qui peut du moins servir pour apprécier approximativement la dégradation d'intensités des images observées dans notre appareil, pour les diverses amplitudes d'angles formés par le plan de polarisation primitif. Car, pour être sûr qu'elle fût ici rigoureusement applicable, il faudrait l'avoir établie spécialement par l'expérience, dans cette disposition des systèmes lamellaires, comme on l'a fait relativement aux lames minces cristallisées douées de la double réfraction.

été coupée perpendiculairement à l'arête longitudinale d'un échantillon cunéiforme. La moindre vivacité relative de ses teintes, colorées seulement de vert et de rose, résulte de sa grande épaisseur même, qui faisait parcourir aux éléments lumineux des alternatives de polarisation plus nombreuses, et mêlait ainsi davantage ceux d'inégales réfrangibilités. Toutefois, ce n'est pas la proportion d'épaisseur seule qui détermine l'intensité relative des actions totales. Le tissu plus ou moins serré des systèmes lamellaires y contribue aussi, comme je l'ai dit déjà, et comme j'en donnerai tout à l'heure de nouvelles preuves. Au reste, on peut en juger sur ces plaques mêmes par la succession des teintes diverses qu'elles présentent à d'inégales distances du sommet de l'angle formé par les surfaces externes, où l'activité des systèmes lamellaires dominants est généralement plus forte que dans les parties plus intérieures de la masse. Mais je veux d'abord signaler une particularité importante de leurs effets, qui est aussi une conséquence de la structure que nous leur avons reconnue. J'ai dit que, dans les masses pyramidales constituées avec régularité, les deux systèmes lamellaires dominants parallèles à deux faces contiguës de la pyramide, doivent se rejoindre intérieurement suivant une surface de section plane qui divise leur angle dièdre en deux parties égales. Dans la position particulière des plaques représentée fig. 11 et 12, cette surface se projette suivant une simple ligne droite perpendiculaire au plan de polarisation primitif. Mais en faisant mouvoir l'œil dans le sens vertical, ou en inclinant la plaque dans ce sens, la surface de jonction des deux systèmes lamellaires se découvre à l'œil, et son existence se manifeste par l'apparition de bandes colorées.

parallèles entre elles, dirigées perpendiculairement au plan de polarisation primitif, lesquelles se partagent toute la projection de cette surface comme le représente la fig. 13, où l'on a seulement marqué leur direction et leur disposition relative, sans y joindre les couleurs dont elles sont accompagnées. La formation de ces bandes, et leurs intervalles, résultent sans doute des intermittences de polarisation que les rayons lumineux d'inégale réfrangibilité subissent en traversant la surface de jonction sous des obliquités diverses; et ainsi elles doivent se rattacher très-intimement au mode physique d'action polarisante exercé simultanément par les deux systèmes lamellaires dans les points de la masse où ils se réunissent. Mais ces phénomènes sont trop complexes et trop nouveaux encore pour que je puisse faire ici autre chose que les signaler.

En répétant les observations précédentes sur différentes plaques, toujours taillées perpendiculairement à l'arête commune de deux faces pyramidales contiguës entre elles, on reconnaît aisément, qu'à épaisseur égale, leur action sur la lumière est d'autant plus vive, que leurs lames constituantes toujours extérieurement visibles par leurs traces, sont plus serrées entre elles, et plus nombreuses dans une même étendue transversale de la masse. De toutes celles que j'ai ainsi étudiées, la plus active provenait d'un cristal appartenant à la variété cunéiforme, qui avait pris naturellement la forme d'un prisme droit, à base à peu près trapézoïdale. Sa section transverse est représentée de grandeur naturelle dans la figure 14. J'y ai indiqué les traces des systèmes lamellaires dominants L, L', qui s'étendent dans toute la longueur du cristal parallèlement aux faces octaédri-

ques externes SA, SB; de sorte qu'ils sont, comme elles, inclinés entre eux sous l'angle de 109°, 28′, 16″. Ils se rejoignent l'un à l'autre dans une surface plane qui divise cet angle en deux parties égales, et dont la droite SE est la projection, ou la trace, sur le plan de la figure. Ces détails de structure sont en partie indiqués par des accidents intérieurs; et l'action du cristal sur la lumière achève de les rendre tout à fait évidents quand on l'observe suivant son axe longitudinal, comme je le dirai dans un moment. Mais je considérerai d'abord ses effets dans le sens transversal, parce que c'est ainsi que j'ai opéré avant de le faire polir à ses extrémités suivant deux coupes planes, et perpendiculaires à son axe, comme le représente la figure 15. Ces effets transverses pouvaient s'observer sans préparation à travers les faces presque parallèles ADC, SB, qui, sans être naturellement d'un poli complet, laissaient cependant passer la lumière avec assez d'abondance et de régularité. Quoique l'épaisseur du cristal dans le sens BC soit seulement de 14 millimètres, la manière singulière dont il s'est formé et isolé des masses environnantes, paraît avoir serré intimement le tissu des lames qui le constituent, et avoir donné à leur agrégation une activité spéciale pour agir sur la lumière. Car lorsqu'on l'introduit transversalement dans notre appareil général, figure 2, en tournant son axe à 45° du plan de polarisation primitif, et présentant la face SB sous l'incidence normale au faisceau blanc polarisé, il développe immédiatement par transmission des couleurs très-vives qui se distribuent sur toute sa longueur par bandes d'égales teintes parallèles à l'arête AA′ de la figure 15, et conséquemment aussi parallèles aux traces des lames du système L′ sur la surface d'émer-

gence ACA'C'. Ces bandes sont en effet produites par l'action unique du système L', qui est traversé ainsi par la lumière presque dans le sens du plan de ses lames; et il est seul actif alors, parce que les lames du système L se présentent normalement au rayon transmis. Mais ce système L', vu en projection sur la surface d'émergence, y occupe seulement l'espace AEA'E'; et la dimension de ses lames dans le sens du trajet des rayons, est d'abord nulle sur la droite EE' parallèle à AA'; puis elle augmente progressivement jusqu'à cette arête où elle atteint sa plus grande longueur AS. C'est pourquoi l'espace ECE'C' ne présente point de bandes lumineuses. Elles commencent à paraître depuis la ligne EE' près de laquelle leur teinte est d'abord le faible bleu blanchâtre, ou blanc bleuâtre, du premier ordre. De là, en se rapprochant de AA', elles passent au blanc total, puis au jaune, au rouge mordoré et au bleu sombre; suivant ainsi, dans leurs intermittences, une marche descendante, je ne dis pas pareille mais analogue à celle du premier ordre des anneaux de Newton. Ces phénomènes se voient sans le secours de lame de chaux sulfatée sensible, et c'est même ainsi qu'on peut les observer le plus distinctement. Car lorsqu'on veut les faire réagir sur elle, sa sensibilité devient nuisible, en manifestant des effets secondaires qui troublent et masquent les effets principaux.

J'ai profité de la disposition si régulière de ces bandes colorées pour constater encore par une nouvelle épreuve, que les couleurs ainsi développées dans les cristaux d'alun, ne résultent pas d'un état forcé de compression, ou de dilatation générale, qui serait imprimé à leur masse totale par réaction sur elle-même, comme dans le verre trempé. A cet effet, j'ai opéré vers une des extrémités du cristal actuel une

fracture transversale, qui en a détaché un fragment de 15 millimètres de longueur dans le sens de l'axe. Lorsque ce fragment a été rapproché du reste de cristal par la surface irrégulière de section, les mêmes raies colorées se sont trouvées en exacte continuation sur les deux parties rejointes, comme si elles étaient encore adhérentes. L'action exercée par chaque partie de la masse totale dépendait donc uniquement de sa constitution locale, indépendamment de toute réaction des parties environnantes. Je rapporterai bientôt d'autres épreuves de ce résultat qui seront encore plus variées.

En observant suivant son axe longitudinal le fragment ainsi détaché, je trouvai qu'il développait immédiatement dans la lumière polarisée des couleurs très-vives, quoiqu'il n'eût, comme je l'ai dit, que 15 millimètres de longueur. Au contraire, le reste du cristal, qui était encore long de 64 millimètres dans ce même sens, n'en produisait pas, quoiqu'il exerçât sur le faisceau transmis un pouvoir de polarisation très-énergique, en rapport avec la direction de ses systèmes lamellaires. En rapprochant ces deux particularités, je compris que la seconde résultait de la longueur du grand fragment, qui faisait parcourir à la lumière transmise des intermittences assez nombreuses, pour que les éléments lumineux de pouvoir colorifique sensiblement pareil, et compris entre des limites de réfrangibilité un peu inégales, se trouvassent, à cause de cette dernière circonstance, répartis à peu près également sur les deux directions de la polarisation primitive et troublée; de manière à produire des images blanches par leur mélange. Je m'assurai aussitôt de ce résultat au moyen d'un petit appareil auxiliaire, qui m'a fréquemment servi depuis bien des années dans mes expériences de polarisation, et

qui est représenté en profil dans la figure 16. Le triangle *baa'* est la section réfringente d'un prisme de cristal de roche, dont l'axe de double réfraction est parallèle à la base *aa'*. Ce prisme très-aigu et très-oblong est collé à un prisme de crown-glass *bb'a'*, ayant un angle réfringent égal, et opposé base à pointe; de manière que les réfractions contraires se compensant à peu près l'une par l'autre, les images transmises des objets ne se trouvent pas, ou à peine, déviées de la direction rectiligne. Le prisme *baa'*, ainsi associé, équivaut donc à toute une série de lames de cristal de roche parallèles à l'axe, qui auraient des épaisseurs graduellement diverses et croissantes, depuis le tranchant *a'* où cette épaisseur est nulle, jusqu'en *a* où elle devient égale à *ba*. Alors, quand on a une lame cristallisée douée de la double réfraction moléculaire, mais trop épaisse pour développer des couleurs dans la lumière polarisée, il n'y a qu'à diriger expérimentalement sa section principale dans l'azimut $\pm 45°$ autour du plan de polarisation primitif, puis introduire après elle le double prisme, en tournant successivement sa section principale sur ces deux directions, et l'essayant par tous les points de son épaisseur dans toutes deux. Car, si la lame cristalline soumise à cette épreuve imprime aux éléments lumineux qui la traversent, un nombre d'intermittences de polarisation moindre que celui que peut produire une épaisseur totale *ba* de cristal de roche parallèle à l'axe, il se développera infailliblement des bandes colorées dans une des positions données ainsi au prisme auxiliaire; et, par cette position, comme par l'épaisseur du prisme dans l'endroit où elles paraissent, on connaîtra l'intensité relative du pouvoir exercé par la lame cristalline, ainsi que la nature attractive ou répulsive de sa

double réfraction moléculaire. Si aucune des positions du prisme auxiliaire ne développait de bandes colorées, on devrait en conclure que la lame essayée est, relativement à lui, trop épaisse et trop énergique; de sorte que, pour rendre l'expérience possible, il faudrait l'amincir, ou la combiner avec un prisme de cristal de roche compris entre des épaisseurs extrêmes plus grandes que *ba*.

Afin d'appliquer cette épreuve au prisme d'alun que nous considérons, j'ai fait aplanir et polir ses deux extrémités, dans un sens perpendiculaire à son axe, comme le représente la figure 15; ce qui lui a encore laissé une longueur de AA′ de 60 millimètres. Je l'ai alors introduit dans mon appareil de la figure 2, et je l'ai fait traverser normalement à ses bases par le faisceau polarisé. Je pus ainsi reconnaître l'existence et la direction des deux systèmes lamellaires qui le composaient, en voyant dans quel sens il fallait tourner le cristal autour de l'axe de vision, pour que la portion de sa masse occupée par chacun de ces systèmes troublât ou ne troublât pas la polarisation primitive. Aucune de ces portions ne produisait dans la lumière transmise des couleurs caractérisées, ou même discernables. Mais on voyait paraître des bandes colorées, très-serrées et très-distinctes, dans la projection de la surface de jonction des deux systèmes lamellaires, lorsqu'on l'inclinait sur l'axe de vision de manière à la découvrir; et ce caractère indiquait très-nettement sa direction par le milieu de l'angle dièdre ASB, compris entre les faces octaédriques externes auxquelles chaque système appartenait.

Ayant donc tourné le cristal autour de l'axe de vision, de manière qu'un de ces systèmes, I. par exemple, formât un

angle de 45° avec le plan de polarisation primitif, j'ai placé derrière lui le double prisme d'épreuve figure 16, de manière que l'axe *aa'* de la plaque de cristal de roche se trouvait perpendiculaire à la face SB, conséquemment aux lames du système L. Car ces systèmes agissant sur la lumière polarisée, comme ferait une plaque douée de la double réfraction attractive, qui aurait sa section principale dans le plan de leurs lames, ainsi que nous l'avons plus haut constaté, les bandes colorées ne pouvaient se produire par complète opposition, que dans le croisement rectangulaire. Ce fut en effet ce qui arriva. En remarquant dans quelle partie du prisme auxiliaire paraissaient les bandes, je jugeai que l'épaisseur du quartz pouvait y être égale à 6 ou 7 dixièmes de millimètre. Alors je préparai une lame de chaux sulfatée qui avait exactement pour épaisseur $0^{mm},6$; et après avoir déterminé le sens de sa section principale, je la croisai rectangulairement avec les lames du système L, comme j'avais fait quand j'employais le prisme de quartz. Les couleurs reparurent donc aussi par ce croisement, mais plus étalées que dans la précédente expérience, à peu près comme dans les fig. 11 et 12. L'égale épaisseur de la lame substituée au prisme n'y laissait plus paraître d'autres différences que celles qui tenaient à l'inégale constitution des systèmes lamellaires eux-mêmes, aux diverses profondeurs où ils s'étendaient.

Ayant ainsi étudié l'action de ces systèmes sur la lumière polarisée, depuis son plus faible développement jusqu'aux dernières phases de polarisation colorée qu'ils peuvent produire, nous allons employer les lois de cette action pour découvrir immédiatement la structure intime de tous les cristaux d'alun doués d'un pareil pouvoir, sans avoir besoin

de les tailler artificiellement. Il suffit pour cela de compenser les réfractions angulaires de leurs faces naturelles, par l'opposition d'un prisme de verre convenablement choisi, et complétement dépourvu d'action polarisante propre. Car, pouvant ainsi introduire le rayon polarisé en un sens quelconque dans l'intérieur de leur masse, et l'en faire ressortir suivant une direction d'émergence sensiblement parallèle à sa direction d'incidence, toutes les modifications qu'ils pourront lui imprimer deviendront ainsi observables dans notre appareil général de la figure 2; et, par elles, on reconnaîtra aussitôt le sens, ainsi que l'intensité des actions, que les divers systèmes lamellaires du cristal exercent, quel que soit leur assemblage. De sorte que toutes les particularités de leur distribution, de leur extension, de leur énergie relative, se verront ainsi d'un seul coup d'œil. Je vais appliquer ce procédé d'observation à un petit nombre d'exemples, que je choisirai parmi ceux qui peuvent mettre le mieux en évidence les singulières particularités d'association suivant lesquelles les systèmes lamellaires de l'alun peuvent se grouper, dans la cristallisation simultanée, pour former définitivement des masses toujours configurées à l'extérieur conformément aux lois du système octaédrique régulier.

Je prends d'abord un cristal pyramidal, terminé en pointe aiguë, tel que le représente la fig. 17. Pour plus de simplicité, je supposerai qu'il soit la moitié d'un octaèdre complet dont C est le centre de génération et de figure; en sorte que sa base ABDC sera un carré parfait. Alors la fig. 18 représentera la projection du cristal sur le plan de cette base; et la fig. 19 représentera sa projection sur un autre plan rectangulaire à celui-là, lequel serait mené par le sommet S et par

les milieux des arêtes parallèles AB, DE. Cette seconde projection exprime aussi une coupe triangulaire de la pyramide par le plan SPQ, ainsi conduit; et d'après la symétrie de configuration que nous avons admise, on aurait une section identique à celle-là, si l'on coupait la pyramide par le plan RTS, mené du sommet S, aux milieux des deux autres arêtes parallèles BD, AE de la base carrée.

Lorsque le cristal ainsi configuré a sa pointe S tout à fait exempte de troncature normale à l'axe, et que ses arêtes latérales sont aussi exemptes de troncatures dodécaédriques, il est *ordinairement* composé à l'intérieur de quatre systèmes lamellaires dominants, respectivement parallèles aux faces externes de la pyramide, et d'une égale activité. Cette symétrie de constitution intestine est pourtant quelquefois troublée par des accidents survenus dans la continuité de la cristallisation. Mais, comme elle offre le seul cas de génération que l'on puisse régulièrement définir pour y appliquer le raisonnement, j'admettrai d'abord qu'elle existe, et je chercherai à prévoir les modifications qu'elle doit produire dans la lumière polarisée, lorsque le cristal est observé dans les positions représentées fig. 18 et 19, c'est-à-dire, lorsque le faisceau polarisé le traverse suivant son axe SC, ou perpendiculairement à sa coupe transversale SPQ.

Le premier cas n'a pour ainsi dire pas besoin d'explication. Car alors le cristal pyramidal modifiera le faisceau transmis précisément dans les mêmes sens, et de la même manière que ferait l'octaèdre complet dont il est la moitié. En effet, les systèmes lamellaires qui auraient la même projection, dans les deux pyramides supérieure et inférieure, ayant toujours leurs plans de réfraction communs, leurs actions s'ajoute-

raient seulement l'une à l'autre dans chaque faisceau octaédrique. Ainsi, toutes les apparences produites seraient semblables à celles des octaèdres complets que nous avons décrites d'abord.

L'autre sens d'observation, perpendiculairement au plan SPQ, fig. 19, peut être réalisé en plaçant le cristal dans un milieu liquide d'égale réfringence, terminé par des faces parallèles à ce plan. Mais si l'on veut seulement étudier sa constitution intestine, comme c'est ici notre but, il suffit de compenser la réfraction angulaire de ses faces pyramidales, par l'opposition d'un prisme de verre exempt de pouvoir polarisant propre, et dont l'équivalence, si elle n'est tout à fait rigoureuse, soit du moins assez approchée pour que le faisceau émergent final puisse encore se trouver compris dans le champ de vision qu'embrasse l'appareil de Nicol qui sert à l'analyser. Lorsqu'on opère de cette manière, il faut incliner la surface d'incidence sur l'axe de vision pour rendre le rayon transmis parallèle à la base de la pyramide et perpendiculaire au plan SPQ. Mais on arrive bientôt à cette position, assez exactement pour le but qu'on se propose, en s'astreignant à rendre l'image transmise aussi lumineuse que possible jusqu'à l'extrémité de la pointe S. Ceci convenu, pour voir d'un seul coup d'œil toute la constitution intestine du cristal, j'emploie le même moyen qui nous a servi pour les plaques taillées normalement à une arête de la pyramide. C'est-à-dire que je rends la ligne CS de la fig. 19, ou le plan RTS de la fig. 17, perpendiculaire au plan primitif de polarisation du faisceau incident; et je demande quelle devra être alors la nature de l'image devenue visible

par l'action du cristal, en le supposant toujours constitué régulièrement jusqu'à son centre C.

La réponse se lit dans les figures mêmes. D'après le caractère de symétrie et de continuité que nous admettons, le cristal est formé par la superposition plus ou moins intime d'une multitude de couches pyramidales, semblables à ses faces externes, et croissant en dimensions depuis son centre C, comme le représente la figure 17. Dans la position que nous lui donnons, les systèmes lamellaires parallèles aux faces SAE, SBD ont leur plan de réfraction actuel perpendiculaire au plan de la polarisation primitive; conséquemment ils ne la troubleront point. Mais les systèmes parallèles aux faces SAB, SDE sont au contraire traversés ici par la lumière dans le sens de leurs lames; et la ligne CS, fig. 19, qui divise leur inclinaison mutuelle en deux parties égales, forme avec chacun d'eux un angle de 35° 15′ 52″; de sorte qu'ils forment eux-mêmes, avec la direction de la polarisation primitive, un angle complémentaire, égal à 54° 44′ 8″. Ils doivent donc enlever à cette polarisation une portion du faisceau incident, qui attestera leur existence en devenant visible dans le prisme analyseur. Il ne reste plus qu'à savoir comment les lignes d'égale teinte de cette image devront être disposées sur chaque moitié triangulaire CSP, CSQ du champ de vision. Car elles devront l'être évidemment d'une manière symétrique sur chaque moitié, d'après la symétrie de constitution attribuée au cristal, jointe à sa symétrie de position autour de CS.

D'abord, dans chaque lame, considérée isolément, la teinte assimilée aux anneaux de Newton descendra dans sa table, à mesure que le trajet parcouru par la lumière sera plus

considérable. Ainsi, dans la couche externe SBA par exemple, l'effet sera nul à sa pointe S où le trajet est nul. De là, en montant vers AB, la teinte enlevée à la polarisation primitive sera d'abord le blanc bleuâtre du premier ordre, plus haut le blanc total, puis le jaune, l'orangé, le rouge, ou du moins les teintes telles qui répondent aux mêmes successions d'intermittence dans ce genre d'action. Le même raisonnement étant appliqué aux lames intérieures parallèles à SBA, les teintes égales se produiront aux distances de l'axe CS où le trajet dans chacune d'elles est d'égale longueur, ce qui a lieu sur des droites parallèles à CS. Ainsi, d'abord il y aura une bande noire sur cet axe même; et le reste de chaque section triangulaire SCP, SCQ présentera une suite de bandes parallèles à sa direction, dont les teintes propres, constantes sur chacune d'elles, s'étendront symétriquement des deux côtés de la ligne CS, en suivant l'ordre de dégradation qui vient d'être indiqué.

Ceci suppose la constitution des systèmes lamellaires exactement uniforme, et leur mode de superposition également intime depuis le centre C de la pyramide jusqu'à ses surfaces externes. Ces conditions de continuité absolue ne se réalisent jamais, ou presque jamais, avec une rigueur complète, dans la cristallisation d'une masse de quelque épaisseur. L'agrégation est ordinairement plus ou moins confuse près du centre C de cette masse. De là elle augmente en régularité jusqu'aux surfaces externes, et surtout vers la pointe S, où les systèmes lamellaires deviennent habituellement plus décidés et plus continus, comme le prouve la plus grande netteté des clivages mécaniques, ainsi que la limpidité que le cristal acquiert dans ces parties; et aussi

la plus grande activité, à épaisseur égale, des lames qu'on en extrait. Par suite de ces circonstances, un trajet d'égale longueur produit toujours un effet un peu plus énergique à mesure qu'il a lieu plus près des surfaces externes. Ceci rend les bandes d'égale teinte généralement un peu obliques à l'axe CS, en se rapprochant de lui du côté de la pointe S et s'en éloignant vers la base PQ, laquelle est ordinairement terminée par un appendice cristallisé plus ou moins confusément. Et comme ces inégalités de la structure ne sont jamais identiquement les mêmes des deux côtés de l'axe CS, les lignes d'égale teinte ne se trouvent pas non plus toujours réparties d'une manière exactement égale sur ces deux moitiés. Mais ce sont là précisément autant de caractères qui décèlent d'un seul coup d'œil toutes les interruptions et tous les accidents que la cristallisation a subis.

Il s'en manifeste surtout ainsi de très-singuliers dans les pyramides, soit régulières, soit cunéiformes, qui sont naturellement tronquées à leur sommet. Considérant d'abord les premières, je leur applique des procédés d'observation et des constructions graphiques analogues à celles dont nous avons fait tout à l'heure usage. Ainsi la fig. 20 en représente une projection faite sur la base carrée, et les fig. 21, 22, 23, 24 sont autant de projections transversales, ou de coupes, faites par le centre C perpendiculairement aux arêtes parallèles AB, DE. Or, en étudiant un tel cristal dans le sens de ces coupes, à l'aide d'un prisme compensateur, comme nous l'avons fait fig. 19 pour les pyramides complètes, on s'aperçoit que la surface de troncature peut y être engendrée fort diversement. Par exemple, on en trouve dans lesquels cette surface est formée par les extrémités des systèmes lamellaires

latéraux les plus extérieurs, qui se la sont partagée également, comme le représente la fig. 21. Alors, en observant le cristal par sa coupe transversale, au moyen d'un prisme compensateur, comme nous l'avons fait fig. 19 pour les pyramides complètes, et tournant de même sa section RTS perpendiculairement à la direction PQ de la polarisation primitive, on voit que la bande noire transverse CS partage la surface de troncature exactement par moitié; et les bandes d'égale teinte apparaissent alors des deux côtés de cette barre avec une disposition ordinairement symétrique comme dans les pyramides complètes et régulières. Dans un tel cas, si l'on observe le cristal dans le sens de son axe pyramidal, après avoir aplani et poli sa base pour en former une plaque à faces parallèles, fig. 20, il produit dans la lumière polarisée les mêmes phénomènes qu'une plaque taillée perpendiculairement à l'axe d'un octaèdre complet régulièrement constitué; comme celle que nous avons étudiée page 555, et qui est représentée en projection fig. 4. Ainsi, la surface de projection naturelle ABDE, fig. 20, ou toute autre plus étendue qu'on obtiendrait en usant le cristal parallèlement à la troncature, offrira, dans ces circonstances, l'aspect d'un carré, subdivisé de même en quatre triangles égaux partant de son centre, et opposés par couples ayant un même sens d'action. Mais il arrive aussi fréquemment que les systèmes lamellaires latéraux du cristal tronqué se partagent la surface de troncature dans des proportions inégales, et même que l'un d'eux, quelquefois, l'occupe tout entière, comme le représente la fig. 22. Alors la bande noire transversale va partager la surface de troncature dans les mêmes rapports, parce qu'elle suit toujours le plan dans lequel se

joignent les deux systèmes lamellaires suivant lesquels s'opère la transmission; et ainsi, dans le cas de la fig. 22 par exemple, elle aboutit à une des extrémités de la troncature (1). Ces diverses dispositions des systèmes lamellaires se manifestent nécessairement lorsqu'on observe le cristal dans le sens de son axe pyramidal, où il se présente comme dans la fig. 20. Car, l'étendue que chacun d'eux occupe alors sur la surface de projection, détermine le partage de cette surface entre les divers sens d'action qu'ils exercent; et l'on y retrouve tous les caractères de leur distribution que l'on avait reconnus par l'observation transversale, effectuée suc-

(1) A la rigueur, cette ligne transversale pourra n'être pas toujours exactement noire, parce que les lames constituantes intérieures du cristal tronqué ne seront peut-être pas toujours des triangles réunis par leurs pointes sur un même axe rectiligne, comme dans les cas de génération réguliers représentés fig. 17 et 19. Par exemple, le système lamellaire supérieur de la figure 22 pourrait être composé de lames trapézoïdales qui s'étendraient dans toute la surface de troncature en suivant l'axe de vision. Alors le trajet des rayons transmis n'étant pas nul sur la ligne CQ, ils devraient être modifiés en le parcourant. Je n'ai pas cru devoir mentionner toutes ces particularités accidentelles pour ne pas trop compliquer l'exposition des faits généraux. On les découvrirait au besoin dans chaque cas en étudiant le cristal combiné avec la lame de chaux sulfatée sensible. Car les variations de ses teintes sont si délicates qu'elles décèlent des perturbations de la polarisation primitive que l'œil ne pourrait saisir directement, la quantité de lumière qui les subit étant trop faible pour l'affecter par une impression appréciable. On observe souvent ainsi des portions de cristaux qui, vues directement dans notre appareil, semblent inactives et paraissent noires, mais qui, lorsqu'on interpose la lame de chaux, manifestent une action polarisante très-évidente.

cessivement suivant les deux coupes principales et rectangulaires du cristal tronqué.

Mais les troncatures perpendiculaires à l'axe sont aussi engendrées très-fréquemment par l'interposition intérieure d'un système lamellaire parallèle à la face tronquée, qui s'est formé entre les systèmes lamellaires latéraux, et s'est développé simultanément avec eux jusqu'à cette surface, en affectant une forme tantôt pyramidale, tantôt cylindrique, tantôt ovoïde, comme le représentent les figures 23, 24 et 25. Cette insertion est quelquefois décelée par des accidents intérieurs qui la rendent visible à l'œil. Mais on l'aperçoit toujours par l'observation transversale faite avec le prisme compensateur. Car l'axe pyramidal du cristal étant alors perpendiculaire au plan de polarisation primitif, tout l'espace occupé par le système intérieur se dessine d'abord en noir; puis il devient lumineux dès qu'on sort le cristal de cette position en le faisant tourner autour de l'axe de vision; et il atteint son maximum d'intensité quand cette rotation a été de 45°; après quoi il redevient noir de nouveau quand elle a été de 90°. De tels effets ne peuvent être produits que par un système lamellaire dirigé parallèlement ou perpendiculairement à l'axe pyramidal du cristal. Mais l'alternative se trouve décidée pour le dernier cas, en observant le cristal tronqué, dans le sens de cet axe, comme le présente la fig. 20. Car alors tout l'espace occupé par les systèmes intérieurement insérés devient inactif; ce qui prouve qu'ils sont alors dirigés perpendiculairement aux rayons transmis, et non pas dans le sens de leur transmission, puisqu'ils s'en trouveraient alors impressionnés, au lieu qu'ils ne le sont point. On conçoit

aisément la multitude d'apparences bizarres que doivent présenter des plaques ainsi constituées.

De tous les cristaux d'alun que j'ai ainsi étudiés, le plus curieux assurément avait la forme d'une pyramide quadrangulaire, très-légèrement tronquée à son sommet, et annexée par sa base à un appendice également pyramidal, mais d'une configuration bien plus allongée, à peu près comme le représente la figure 26, pour une section faite suivant l'axe. La pyramide était d'une limpidité admirable, et l'appendice aurait été tout aussi transparent s'il n'avait été sillonné dans toute sa longueur par une multitude de stries transversales très-serrées, qui, sur chaque face, étaient exactement parallèles aux arêtes basiques de la portion limpide. Toutes ces apparences indiquaient donc que le cristal dont il s'agit était composé d'une infinité de couches pyramidales, apposées coniquement les unes sur les autres; comme certains cristaux de quartz, où de semblables couches se montrent visiblement en superposition, dans toute la longueur de l'aiguille qu'elles constituent par leur ensemble. Or, l'observation transversale faite avec le prisme pour la portion pyramidale, et sans son interposition pour l'appendice, a en effet confirmé pleinement cette induction. Car lorsque l'axe longitudinal du cristal s'est trouvé ainsi dirigé perpendiculairement au plan de polarisation primitif, il s'y est manifesté d'abord un système lamellaire central, normal à cet axe, et irrégulièrement configuré, comme le représente la figure; puis, tant au-dessus qu'au-dessous de lui, on voyait plusieurs séries de bandes colorées de teintes très-vives, qui s'étendaient parallèlement les unes aux autres dans toute la longueur de l'appendice et de la pyramide, avec une disposition presque rigoureuse-

ment symétrique des deux côtés de l'axe central. La même apparence se reproduisait quand on observait ainsi la masse à travers deux quelconques de ses faces parallèles; sauf les différences produites par les inégalités de sa configuration suivant ces divers sens de coupe, lesquelles se manifestaient au dehors par les protubérances correspondantes des sections normales à l'axe. Ces phénomènes qui offrent un spectacle physique très-curieux, et qui sont en apparence fort complexes, découlent rigoureusement des lois d'action que nous avons reconnues être propres aux systèmes lamellaires soit isolés, soit combinés; et ils en manifestent d'un seul coup d'œil toutes les conséquences.

Des effets complétement analogues à ceux que je viens de décrire sont opérés par les cristaux cunéiformes, dans lesquels deux des faces apposées de la pyramide octaédrique ont pris une extension spéciale, comme le représente la figure 27, où l'arête supérieure formée par ces faces est supposée exempte de toute troncature. Ces cristaux présentent presque toujours deux systèmes lamellaires dominants parallèles aux grandes faces octaédriques, et deux systèmes parallèles aux petites faces; les uns et les autres s'étendant à l'intérieur de la masse jusqu'à une certaine profondeur, mais les grands d'ordinaire plus que les petits, qui occupent seulement les deux extrémités longitudinales. Tous les effets que ces cristaux produisent dans la lumière polarisée résultent généralement d'une pareille constitution intestine, que décèlent souvent des accidents intérieurs par lesquels la direction des lames et leur extension relative deviennent manifestes. Mais, d'après les dimensions inégales du rectangle qui leur sert de base, on conçoit que, pour en avoir une notion complète,

il faut les observer suivant trois sens de coupe, ou de projections rectangulaires, représentés par les figures 28, 29, 30, et dont la position dans la masse totale est indiquée par la similitude des lettres que j'y ai annexées. Les deux dernières, étant faites à travers des faces obliques l'une à l'autre, exigent l'emploi auxiliaire du prisme compensateur. La première ne devient possible qu'en plaçant le cristal dans un milieu liquide d'égale réfringence, terminé par des faces parallèles entre elles que l'on dispose normalement aux rayons transmis; ou bien encore en détruisant l'arête vive S'S'' de la figure 27 par une coupe parallèle à la base rectangle, et transmettant le faisceau polarisé, perpendiculairement aux faces ainsi produites artificiellement. Quel que soit celui de ces procédés que l'on emploie, l'étude du cristal faite suivant ces trois coupes principales montrera d'avance tous les effets qu'il doit opérer quand on extraira des plaques artificielles taillées dans des sens quelconques. Je crois, après ce qui précède, n'avoir pas besoin de développer en détail les résultats qui pourront ainsi se présenter. Je ferai seulement remarquer deux particularités annexées à ce genre de constitutions : la première est que dans l'observation faite à travers la section PSQ, figures 27 et 29, la ligne CS ne doit pas paraître en général noire; parce que les systèmes lamellaires parallèles aux grandes faces ont encore en S une longueur S'S'' qui se trouve dirigée suivant l'axe de vision. De sorte que le rayon polarisé parcourant cette longueur dans le sens même des lames, s'y trouve nécessairement modifié; au lieu qu'il ne devait pas l'être du tout à la pointe des pyramides régulières, figure 19, comme nous l'avons observé alors. Ma seconde remarque, c'est que, dans cette même observation,

les lames parallèles aux grandes faces, qui se trouvent alors dirigées suivant l'axe de vision, ne sont pas également actives dans toute leur longueur, parce que vers les extrémités S′T, S″R de la section longitudinale, ce sont les systèmes lamellaires des petites faces qui dominent jusqu'à une certaine profondeur. Et l'on s'en aperçoit lorsqu'on observe à travers cette section longitudinale elle-même, comme le suppose la figure 30. Car, en dirigeant alors le plan de réfraction des grandes faces perpendiculairement au plan de polarisation primitif, ce qui anéantit leur effet propre, la surface de projection ne paraît noire dans les masses régulières que sur l'étendue du rectangle compris entre les perpendiculaires S′N′, S″N″, menées des deux extrémités de l'arête supérieure sur la base R′T; et le reste de la projection, occupé par les triangles S′N′T, S″N″R, se comporte comme deux sections transversales de pyramides régulières que l'on observerait conjointement dans le même sens de transmission.

Les cristaux cunéiformes dont l'arête est tronquée parallèlement à la base, comme le représente la fig. 31, produisent dans la lumière polarisée des phénomènes qui tiennent à la fois de ceux que nous venons de décrire, et de ceux que produisent les pyramides quadrangulaires naturellement tronquées à leur sommet. On reconnaît de même tous ces phénomènes, en observant le cristal suivant ses trois coupes principales représentées dans les fig. 32, 33 et 34. On y découvre ainsi divers modes de génération de la surface de troncature; et, le plus habituellement, on voit qu'elle appartient à un système lamellaire intérieur parallèle à cette surface, lequel diffère seulement par l'extension de ses lames

de ceux qu'on observe dans les pyramides rectangulaires tronquées à leur sommet. Toutefois il y acquiert plus fréquemment un développement considérable. De sorte que, lorsqu'on veut employer un pareil cristal pour former une plaque octaédrique à faces parallèles, en polissant ou agrandissant la face naturelle de troncature sans l'avoir étudiée transversalement, on est très-souvent surpris de voir qu'une portion fort considérable, et quelquefois la totalité de sa projection se montre inactive sous l'incidence normale, parce que les lames constituantes du système intérieur qui a engendré la troncature sont alors normales aux rayons transmis. Mais ce désappointement offre une confirmation de nos lois générales quand on en connaît la cause; et l'on peut toujours l'éviter en étudiant le cristal par le prisme avant de le tailler.

Ayant ainsi à ma disposition un nombre considérable de cristaux d'alun, tant avec leur configuration naturelle que taillés en plaques à faces parallèles, dont j'avais complétement reconnu la constitution intime ainsi que la direction des systèmes lamellaires dominants dans chaque portion de leur masse, j'ai profité de ces circonstances pour constater de nouveau que les effets produits par tous ces corps, de construction si diverse, dépendent uniquement de leur organisation locale, et non pas d'un état forcé de compression ou d'expansion imprimé occasionnellement à toute leur masse, lequel y serait devenu persistant, comme dans le verre trempé. Si l'on clive un quelconque de ces cristaux assez nettement pour pouvoir remettre ses fragments dans leur contact primitif, par l'interposition d'une couche très-mince d'essence de térébenthine épaissie par la chaleur, le système ainsi réagrégé continue d'agir sur la lumière polarisée

comme si ses parties n'avaient pas été désunies. De sorte que s'il s'opère entre elles quelque réaction, comme dans le verre trempé, ce que je ne voudrais pas supposer absolument impossible, elle doit être du moins excessivement faible, comparativement aux actions propres des systèmes lamellaires constituants. J'ai répété ces épreuves d'une autre manière, en chauffant symétriquement et dissymétriquement des plaques naturelles ou artificiellement taillées que je plaçais sur un support de porcelaine. J'ai amené ainsi leurs faces externes jusqu'à un commencement de fusion; et j'y ai déterminé ensuite des fissures qui les traversaient de part en part, en y déposant quelques gouttes d'alcool froid. Mais tout cela n'a produit aucune modification appréciable dans les limites d'action résultante des systèmes lamellaires qui n'étaient pas individuellement décomposés; et, ce qui m'a plus surpris, les teintes mêmes qu'ils développaient immédiatement dans la lumière polarisée ne m'ont pas paru subir de changement sensible avant cette décomposition. Le temps m'a manqué pour suivre ce genre de modification par la chaleur communiquée; mais les épreuves précédentes suffisaient pour mon but principal, qui se bornait à constater que les séries de molécules situées sur le trajet d'un même filet lumineux exercent un pouvoir attaché à leur arrangement lamellaire propre, indépendamment de la réaction mécanique des séries environnantes.

Sachant, par ce qui précède, dans quel sens il faut tailler ou observer les cristaux d'alun, pour manifester le plus puissamment l'action de leurs systèmes lamellaires sur la lumière polarisée, je me suis servi de cette connaissance pour constater de nouveau, avec une entière certitude, la singulière

différence qui existe dans leur aptitude à produire ces phénomènes, selon qu'ils contiennent ou ne contiennent pas d'ammoniaque. Dans mes premières expériences, j'avais reconnu cette propriété en voyant que de gros cristaux octaédriques, extérieurement très-réguliers, ne produisaient aucune modification appréciable sur la lumière polarisée, étant combinés avec les lames de chaux sulfatée les plus sensibles; et j'avais trouvé, par les épreuves chimiques, qu'alors ils ne présentaient pas de traces d'ammoniaque, tandis que tous les cristaux actifs en renfermaient. J'avais reproduit ce fait, en plaçant de petits cristaux de ces deux espèces, préparés par M. Pelouze, et vérifiés par moi-même, dans des anneaux de verre fermés par des glaces minces et entourés de leur propre solution. Car, lorsqu'on introduisait tour à tour ces deux appareils dans le trajet d'un faisceau de lumière polarisée, en avant d'une lame mince de chaux sulfatée très-sensible, tous les cristaux sans ammoniaque se montraient absolument inactifs, et tous les autres, contenus dans l'autre anneau, développaient des différences de couleur très-vives. J'ai repris depuis ces gros cristaux octaédriques exempts d'ammoniaque. J'en ai fait tailler quelques-uns en plaques, dans les directions de coupe les plus favorables; j'en ai observé d'autres dans tous les sens, en compensant leurs réfractions angulaires par des prismes de verre sans pouvoir polarisant propre; et malgré tous ces artifices, qui, dans les cristaux contenant de l'ammoniaque, auraient infailliblement développé des couleurs très-vives sans aucun intermédiaire (1), je n'ai pu rien voir dans ceux-ci, même en

(1) Je veux seulement parler ici des couleurs que les cristaux dont il

les combinant avec les lames de chaux sulfatée les plus sensibles, si ce n'est çà et là quelques faibles traces d'action irrégulièrement réparties dans leur masse, telles qu'en pourraient manifester des systèmes lamellaires indécis, ou dont les effets seraient presque exactement compensés par la diversité infinie de leurs directions. Tandis que de tout petits cristaux d'alun ammoniacal que m'a donnés M. Pelouze, étant enfermés depuis plusieurs semaines dans leur propre solution incomplétement saturée, et n'ayant plus un millimètre d'épaisseur, exercent encore une action très-évidente, par laquelle on distingue parfaitement les petits fuseaux octaédriques qui les constituent. Une telle différence d'effet est sans doute assez surprenante entre des combinaisons que l'on considère comme isomorphes; et dont les cristaux continuent à croître, étant transportés de l'une dans l'autre, selon ce que M. Gay-Lussac a observé. Elle le paraîtra davantage encore, si l'on considère que, même dans l'alun complétement ammoniacal des chimistes, la proportion constituante d'ammoniaque ne s'élève pas à $\frac{38}{1000}$ de leur poids; et dans les fabrications en grand où cet alcali n'est introduit que comme auxiliaire, sa proportion pondérable est

---

s'agit auraient développées dans leur masse totale. Car j'ai trouvé, par exemple, des plaques d'alun ammoniacal, taillées perpendiculairement à l'axe de l'octaèdre, qui se montraient actives seulement dans le voisinage de leurs faces latérales, les parties centrales de leur masse étant inactives sous l'incidence perpendiculaire. Par conséquent, si l'on eût extrait un parallélipipède comprenant seulement ces parties centrales, il eût été isolément inactif dans ce même sens, quoiqu'il eût pu ne pas l'être dans le sens transversal.

encore bien moindre. Car M. H. Deville l'a trouvée seulement de six ou sept millièmes dans des cristaux très-actifs que je lui avais remis et qu'il a analysés avec les plus grands soins. La composition chimique de ces produits a pour fondement commun un équivalent de sulfate aluminique et vingt-quatre équivalents d'eau, unis à un autre équivalent, lequel peut être du sulfate potassique, ou du sulfate ammonique accompagné alors d'un atome d'eau nécessaire à son existence, comme l'a remarqué M. Pelouze; ou enfin une somme quelconque de ces deux sulfates formant un équivalent complexe auquel s'ajoute la proportion d'eau que le second exige. Maintenant, la présence du sulfate ammonique dans ces combinaisons donnerait-elle aux ingrédients du système total la nécessité, ou seulement la propension, de s'agréger entre eux par couches physiquement distinctes, dont les alternatives hétérogènes feraient éprouver à la lumière polarisée qui les traverse des modifications successives, infiniment faibles, mais infiniment réitérées dans une épaisseur sensible, de manière à produire en somme les effets finis que nous observons? Ce qui pourrait le faire présumer, c'est que des cristaux d'alun ammoniacal, *exempts de potasse*, où l'alumine était remplacée par le péroxyde de fer, et que M. Regnault m'avait donnés, m'ont présenté des indices indubitables d'action. Mais la discontinuité de leur structure interne rendait leurs effets trop faibles pour que j'aie pu les attribuer avec certitude à l'état lamellaire, et non à une autre cause que j'indiquerai plus loin. Une discontinuité plus grande encore et plus constante s'observe toujours dans les cristaux d'alun purement potassique. Car, même lorsqu'ils sont le mieux configurés à l'extérieur, et complétement

limpides, on leur trouve, en les cassant, une fracture vitreuse sans indice de système lamellaire continu; ou, s'ils offrent des couches bien décidées, les lames qui les composent ont leurs faces limites tournées en des sens divers, de manière que leurs systèmes lamellaires, s'ils sont actifs, pourraient se compenser mutuellement. Du moins ces deux cas de confusion, ou d'opposition, se sont toujours présentés à moi, dans les cristaux de cette sorte que j'ai eu l'occasion d'étudier; et ils n'ont imprimé à la lumière polarisée aucune modification attribuable à leur structure interne. Par ces motifs, lorsqu'un cristal d'une certaine espèce d'alun continue de grossir dans une dissolution d'une autre espèce, il serait très-intéressant d'examiner comment les molécules de cette dissolution s'agrégent entre elles autour du noyau central, et si elles conservent leur tendance propre à se superposer en systèmes lamellaires continus agissant sur la lumière polarisée. Cette expérience, et toutes celles en général que l'on pourrait faire pour modifier le mode de cristallisation, lamellaire ou non lamellaire, propre à chaque espèce d'alun, seront très-utiles pour guider les théoriciens dans le choix des impressions qu'ils devront attribuer à la lumière quand elle traverse des systèmes de lames cristallines, homogènes, ou hétérogènes, afin de reproduire, par le calcul, les phénomènes que je viens d'exposer. Mais je livre cette tâche à de plus habiles. Mon but a été seulement de bien établir, par l'expérience, la réalité de ce genre d'action, sa nature spéciale, ses caractères physiques distinctifs; et d'indiquer exactement l'espèce d'appareil naturel qui l'exerce, par la dénomination de *polarisation lamellaire* que j'ai cru devoir lui donner. On verra bientôt qu'il intervient si généralement dans les modifica-

tions imprimées à la lumière polarisée par les corps cristallisés de toute nature, qu'on ne pouvait l'établir par des expériences trop nombreuses ni trop diverses; c'est ce qui m'a soutenu dans un si pénible travail.

Sans prétendre assigner, ni même présumer les conditions d'apposition, ou de constitution moléculaire, qui donnent aussi aux systèmes lamellaires de l'alun le pouvoir de modifier la lumière polarisée qui traverse leurs interstices, je crois devoir fixer ici les justes limites d'une remarque expérimentale que j'ai occasionnellement présentée plus haut, et à laquelle on pourrait attribuer un sens plus étendu que je n'ai voulu le lui donner. Quand on étudie l'action des cristaux d'alun sur la lumière polarisée, en les présentant sous des incidences très-obliques à l'axe de vision, j'ai dit, page 564, qu'il fallait prendre bien garde de ne pas confondre les effets propres de cette action avec ceux que produisent les réflexions totales qui pourraient s'opérer intérieurement, entre les surfaces externes des plaques ou des lames ainsi employées. Je ne voudrais pas affirmer pour cela que les effets réels des systèmes lamellaires sont absolument indépendants de causes analogues; c'est-à-dire, de réfractions et de réflexions, totales ou partielles, opérées par alternatives infiniment nombreuses entre les couches dont ils sont composés. Car, sans vouloir non plus les attribuer positivement à ce genre d'action, je puis ajouter qu'ils s'en rapprochent par des analogies physiques peut-être très-profondes. Par exemple si, avant ou après une plaque active d'alun, on transmet le rayon polarisé à travers un prisme de verre isocèle non trempé, où il puisse éprouver deux réfractions très-obliques séparées par une seule réflexion totale dans

l'azimut de 45°, cette interposition réagira sur les teintes propres du système lamellaire, je ne dis pas de même, mais dans le même sens qu'un autre système lamellaire pareil, dont le plan de réfraction serait placé semblablement. Deux prismes ainsi disposés consécutivement, agissent plus puissamment qu'un seul, et trois plus que deux; de manière, par exemple, que leur action totale peut sembler équivalente à un seul rhomboïde de Fresnel, où deux réflexions totales sont séparées par deux réfractions perpendiculaires. Or, un tel assemblage de trois prismes en contact successif par les seules arêtes de leurs bases, simule assez bien des conditions intermittentes d'action, analogues à celles qu'on pourrait supposer opérées dans une rangée de molécules intégrantes octaédriques telle que la conçoit la cristallographie; c'est-à-dire, ayant un de leurs axes parallèle, et les seules arêtes de leur section centrale en contact, ou séparées par l'intervalle qu'exige toujours la porosité, comme je l'ai représenté fig. 9. Mais l'observation seule ne permet pas de suivre plus loin cette comparaison. Car, en premier lieu, les systèmes lamellaires de l'alun déterminent immédiatement des phénomènes de coloration très-vifs quand on analyse la lumière polarisée sur laquelle ils ont agi, ce que ne font pas les rhomboïdes de Fresnel, non plus que les assemblages de prismes. Deuxièmement, l'énergie de ces systèmes peut aller jusqu'à développer des couleurs, par compensation, avec des plaques épaisses de chaux sulfatée, ou de cristal de roche parallèles à l'axe, effet auquel les appareils mentionnés ne peuvent atteindre. Enfin les successions multipliées de réfractions brusques et de réflexions totales modifient les couleurs ainsi produites, autrement que ne le font les systèmes lamellaires naturels, quand on les combine

entre eux. Mais malgré ces différences, ayant à parler nécessairement de ces actions brusques pour éviter l'illusion que j'ai voulu prévenir, je n'ai pas cru devoir taire ces analogies, si éloignées qu'elles pussent être. Car Fresnel ayant soumis les effets de ses rhomboïdes au calcul analytique, avec un génie d'invention et une finesse expérimentale que l'on ne peut trop admirer, j'ai pensé qu'il n'était pas inutile d'indiquer les connexions qu'on pouvait y entrevoir avec les phénomènes opérés par les systèmes lamellaires cristallins, afin de les présenter aux théoriciens qui auraient l'habileté de les rendre plus intimes, si elles peuvent le devenir.

§ III.

Sur l'influence de l'état lamellaire dans les phénomènes de polarisation et de double réfraction, produits par divers corps cristallisés.

Voulant, dans ce qui va suivre, séparer et classer différents ordres de faits, qui me paraissent n'avoir pas été, jusqu'ici, suffisamment distingués les uns des autres, je commencerai par les définir isolément dans des termes précis, pour n'avoir plus ensuite qu'à les signaler, dans les applications, par les caractères qui leur sont propres.

La minéralogie physique considère les corps continûment cristallisés, comme l'agrégation, réelle ou idéale, d'une infinité de particules solides de dimension insensible, ayant pour chaque substance chimique, composée ou simple, une configuration spéciale; et apposées les unes aux autres, à égales distances, de manière que leurs faces homologues soient toutes parallèles entre elles. Ces solides élémentaires ont-ils

réellement la configuration qu'on leur suppose? ou n'exprimeraient-ils que la distribution résultante des forces attractives, exercées par les particules constituantes véritables? Nous l'ignorons; mais avec cette réserve dubitative, leur conception peut toujours être substituée aux réalités. Haüy les a nommés *les formes primitives* des cristaux de chaque substance, ou de chaque combinaison cristallisable. Peut-être serait-il plus exact de les nommer *formes génératrices*. Car le caractère spécial qu'on y attache, c'est que leur seule apposition, régulièrement étendue, en directions diverses, reproduit pour nos sens, toutes les variétés de configuration des cristaux d'une même substance; parce que la petitesse des solides élémentaires rend inappréciables les dentelures des surfaces qui limitent les solides agrégés, et les assimile ainsi aux faces, en apparence planes, des polyèdres cristallins. Dans ces termes d'approximation, si l'on voulait seulement obtenir une représentation géométrique et externe de ces polyèdres, on pourrait les construire tous avec une même forme génératrice quelconque. Car leur configuration extérieure étant assignée, on trouverait toujours un mode d'apposition des solides élémentaires qui les imiterait. Mais, dans une pareille hypothèse d'uniformité, les lois de cette construction se trouveraient presque toujours excessivement complexes; et, en outre, les conditions purement géométriques qui placeraient les solides élémentaires dans leurs situations relatives, ne présenteraient généralement aucun indice d'une cause physique, qui pût, avec vraisemblance, les y ramener d'eux-mêmes, ou les y maintenir agrégés, comme nous voyons que cela a lieu dans l'acte de la cristallisation. Il est donc infiniment plus convenable, sous ces

deux rapports, de choisir, pour chaque substance, une forme génératrice telle que les formes résultantes observées s'en déduisent par un mode d'apposition que leur constitution physique décèle, ou rende au moins vraisemblable; et qui, appliqué aux solides élémentaires, puisse, par sa concordance avec leurs sens d'attractions mutuelles, justifier, sinon démontrer, la spontanéité, la symétrie, ainsi que la permanence de leur arrangement. Or, ces conditions favorables de choix sont indiquées, dans un très-grand nombre de cas, par les relations de position que présentent les faces polyédriques des cristaux de chaque substance; comme aussi par les directions constantes de clivage suivant lesquelles les diveres portions de leur masse peuvent être plus ou moins aisément séparées par des sections planes. En profitant de tous ces indices, avec une sagacité à laquelle on ne rend peut-être pas aujourd'hui assez de justice, Haüy a trouvé pour toutes les substances observées à l'état de cristal, des formes génératrices bornées à cinq polyèdres des plus simples de la géométrie; et, en décomposant ces cinq formes, pour la facilité du calcul, en trois polyèdres plus simples encore, il est parvenu à reproduire avec ceux-ci toutes les variétés des cristaux les plus complexes, par des lois d'apposition dont l'expression est toujours restreinte aux seuls premiers termes de la série des nombres entiers ou à leurs rapports; ce qui offre une analogie singulière, et peut-être très-profonde, avec la simplicité numérique des proportions pondérables, suivant lesquelles s'opèrent les combinaisons chimiques les mieux définies.

Je n'ignore pas que, depuis la mort de Haüy, les principes de sa méthode cristallographique ont été fort abandonnés.

Au lieu de chercher, comme lui, à *deviner* les formes génératrices, par une décomposition matérielle plus ou moins réalisable de chaque cristal, pour en dériver les formes complexes, par des lois spéciales d'apposition appelées *décroissements,* on a pris une marche absolument inverse. On a défini les cristaux par les seules conditions de direction et de situation relatives que présentent leurs faces externes, prolongées jusqu'à leurs intersections communes sur certaines droites appelées *axes*. Cette construction, appliquée à tous les cristaux connus, a fait voir que les faces ainsi prolongées, étant classées d'après leurs analogies géométriques, vont toujours se composer en un petit nombre de polyèdres types, qui se définissent par les inclinaisons mutuelles de leurs axes, et par les rapports des longueurs comprises sur ces axes entre les intersections des faces prolongées qui les constituent. Alors un cristal complexe étant donné, on n'a besoin que d'observer les positions relatives, et les inclinaisons mutuelles des surfaces qui le terminent. Avec ces éléments, et l'emploi des conditions de symétrie pour le compléter idéalement si cela est nécessaire, le calcul analytique fait connaître les faces qui, étant prolongées, vont se rapporter à un même type, ainsi que les types divers que le cristal rassemble, lesquels se rattachent les uns aux autres, par la condition que les longueurs de leurs axes analogues doivent toujours être entre elles dans des rapports rationnels, et généralement simples. L'ensemble de ces résultats donne évidemment la définition descriptive du cristal proposé. Cette méthode, née en Allemagne, est aujourd'hui presque généralement adoptée en France par les jeunes cristallographes. Elle est d'une application directe; et, ne con-

sidérant les cristaux que par leurs formes extérieures, elle emploie pour données les seuls éléments qui, dans beaucoup de cas, y soient effectivement observables. Mais, par cela même, elle ne fournit aucune lumière sur la constitution intestine de chaque cristal, non plus que sur son mode mécanique de formation. Or ici, comme dans l'étude de tout autre produit naturel, ce mécanisme est précisément le point le plus essentiel à découvrir, parce qu'il dépend des actions moléculaires, qui de toutes parts s'offrent aujourd'hui à nos recherches comme le grand mystère qu'il nous importe de pénétrer. C'est pourquoi, après avoir trouvé la définition descriptive d'un cristal par la méthode allemande, si on la juge actuellement la plus commode pour cet usage, il faudrait toujours compléter ses indications extérieures par une étude de la constitution intestine, fondée sur tous les procédés d'exploration que la physique et la mécanique peuvent fournir. Sans aucun doute, un esprit intelligent, et persévérant, qui entreprendrait cette tâche, serait conduit à d'importantes découvertes. Mais, en l'omettant, comme cela n'est aujourd'hui que trop ordinaire, il est bien à craindre que l'on ne prenne la superficie pour le fond des choses. Telle est, au reste, la conséquence ordinaire des méthodes scientifiques qui sont devenues dominantes pendant un temps. D'autres les remplacent qui le sont à leur tour; jusqu'à ce qu'une heureuse alliance vienne les faire concourir au but commun. Mais cette réunion n'est jamais opérée par les premiers inventeurs, qui sont toujours exclusifs, ni par leurs premiers disciples, chez qui la confiance prévient l'examen. Il faut que plusieurs générations se succèdent avant qu'on revienne à cette règle de bon sens si simple, que, pour étudier

les ouvrages de la nature, notre faible intelligence n'a pas trop de tous les secours qu'elle peut rassembler.

Pour le but que j'ai ici en vue, je n'ai pas besoin d'examiner la connexion plus ou moins certaine qui peut exister entre la représentation artificielle des cristaux par les formes génératrices, et leur constitution physique véritable. L'uniformité de cette constitution, dans toute la masse de chaque cristal *continûment construit*, est le seul caractère que je veuille leur attribuer. Or, elle est rigoureusement établie par le fait suivant, qui en est l'expression la plus générale. Si, dans un cristal constitué continûment, on isole un solide de dimension sensible et de configuration quelconque, tous les solides pareils, et parallèles à celui-là, que l'on pourra extraire de la masse du cristal, devront être identiques physiquement et chimiquement. Si l'un d'eux agit sur la lumière polarisée suivant certaines lois, s'il exerce la réfraction simple ou la réfraction double, soit attractive, soit répulsive, à un ou à deux axes, tous les solides pareils et parallèlement configurés posséderont, suivant toutes les directions homologues, des propriétés semblables, auxquelles j'attacherai désormais l'épithète de *moléculaires*, pour exprimer qu'elles appartiennent généralement au système des particules constituantes du cristal, dans leur état actuel d'agrégation régulièrement continué. Cette uniformité de construction n'est pas toujours maintenue dans tout l'intérieur des masses cristallines; elle l'est même rarement; et par ce motif on peut dire, avec Wollaston, qu'il n'y a de cristaux continus que dans l'infiniment petit physique. Quelquefois le changement se manifeste d'une manière brusque, entre certaines parties de la masse ayant des dimensions sensibles, et qui, considérées

individuellement, présentent un mode d'agrégation pareil en des sens distincts. Alors la masse est composée de cristaux de même nature qui se sont accolés ou pénétrés mutuellement; et l'on peut appliquer à chacun d'eux les mêmes définitions moléculaires. C'est le cas des cristaux agrégés ou maclés. On rencontre aussi des masses cristallines, où cette association en des sens divers, varie avec tant de discontinuité, qu'on peut à peine discerner l'état individuel de leurs parties sensibles; alors, le système total est dit cristallisé confusément. Mais les propriétés individuelles, ou moléculaires, se retrouvent dans les plus petits fragments, réduits, s'il le faut, à des dimensions microscopiques; et, du moins, leur existence isolée y est toujours supposable; car on les rend sensibles, ou on les fait renaître, quand on peut dissoudre la masse totale, et la soumettre à une nouvelle cristallisation opérée avec lenteur.

Outre ces propriétés moléculaires, ainsi définies par la nature et la constance de leurs lois, les masses cristallines en possèdent quelquefois d'autres propres à leur ensemble et qui y sont accidentelles; telles, par exemple, qu'en occasionnerait un état général et forcé de compression ou d'expansion, qui persisterait à s'y maintenir. Un pareil état produit sur la lumière polarisée des effets qui peuvent s'associer à la réfraction moléculaire simple ou double, comme aussi ils peuvent exister sans cette dernière. Mais on les reconnaît à leurs lois propres; et l'on discerne ainsi la part qu'on doit leur attribuer dans les effets résultants.

Enfin, les solides élémentaires d'une masse cristalline, en restant toujours parallèles les uns aux autres, peuvent occasionnellement s'agréger en lames planes, continues, super-

posées d'une manière plus ou moins intime, quelquefois distinctes pour nos sens, d'autres fois seulement pour la lumière polarisée, qui se modifie en traversant leurs interstices. Cette disposition lamellaire se manifeste avec évidence dans les cristaux d'alun qui contiennent de l'ammoniaque. J'ai exposé plus haut les principales lois physiques des effets qu'elle y produit sur la lumière polarisée, lois dont la spécification est alors facilitée, parce qu'elles se trouvent associées à la réfraction simple. Mais la même disposition lamellaire, et les mêmes effets, peuvent aussi être associés à la double réfraction moléculaire, dont ils modifient les caractères propres, comme j'en rapporterai bientôt des exemples. Il faut donc alors les distinguer de cette réfraction par la dissemblance de leurs lois, pour apprécier avec justesse les particularités des phénomènes qui appartiennent à la constitution moléculaire du cristal, et celles qui résultent de l'état lamellaire considéré abstractivement de cette constitution.

Les phénomènes de polarisation, et de réfraction simple ou double, observés dans tous les corps cristallisés, où cet état lamellaire n'exerce pas d'action sensible, avaient donné à la minéralogie une relation bien précieuse entre les formes primitives des cristaux et leur action sur la lumière. Selon cette règle, les corps cristallisés exercent la réfraction simple, ou la double réfraction moléculaire, soit à un axe, soit à deux axes, selon que leur forme primitive est symétrique autour d'un point, d'une droite, ou d'un plan. Seulement, dans ce dernier cas, la symétrie de position du plan peut exister pour le solide même, adopté comme forme primitive, ou pour un de ses dérivés cristallographiques; et les deux axes sont

dirigés dans leur plan de manière à faire des angles égaux avec les faces du solide simple ou complexe. Personne n'a donné plus d'éléments que le docteur Brewster, pour établir cette loi; et personne aussi n'en a donné autant qui semblent l'infirmer.

Dans un mémoire, inséré aux *Transactions philosophiques d'Édimbourg* pour l'année 1816, le docteur Brewster annonça que le muriate de soude cristallisé, le diamant, le spath-fluor, se rencontrent dans la nature sous trois états divers : tantôt n'exerçant que la réfraction simple, tantôt la double réfraction, soit attractive, soit répulsive; ces trois états pouvant même coexister, et se succéder par alternatives, dans les diverses parties d'une même masse. Cette conséquence lui parut résulter des modifications qu'il avait vu éprouver à la lumière polarisée en traversant divers cristaux des substances que je viens de nommer. Il en inféra généralement que les substances dont la forme primitive est un octaèdre régulier ou un cube, composent une classe spéciale de corps qu'une modification occasionnelle des solides élémentaires peut mettre successivement dans des conditions physiques aussi dissemblables. Après avoir décrit les effets très-faibles opérés ainsi par le spath-fluor, où les plans des axes de double réfraction lui ont semblé être parallèles aux faces des cubes, comme dans le sel gemme, il ajoute, sans autre détail, *qu'il a vu des phénomènes semblables opérés par de gros morceaux transparents d'alun.* La brièveté de cette indication de fait, jointe à l'assimilation qu'elle exprime, rend très-présumable que le hasard n'offrit alors à l'observation du docteur Brewster que des cristaux d'alun différents de ceux de nos fabriques, où l'ammoniaque entre comme

élément. Car ceux-ci produisent des effets si intenses, surtout quand leur volume est un peu considérable, qu'il n'aurait pas manqué d'en être frappé, et d'en chercher les lois, fort différentes de celles qu'il énonce (1).

Trois ans plus tard, dans un Mémoire inséré au tome I^er^ du *Journal philosophique d'Édimbourg,* page 1, le docteur Brewster annonça que le minéral connu sous le nom d'*apophyllite* pouvait affecter trois formes cristallines différentes : la première, exerçant la double réfraction à un axe; la seconde, à deux axes; et la troisième, offrant un mode d'agrégation régulièrement complexe, où ces deux sortes de double réfraction se montraient associées en diverses parties de la masse totale. Il reprit ce sujet dans un Mémoire plus étendu, inséré aux *Transactions de la Société royale d'Édimbourg* pour 1821, page 317. La générosité de ses amis scientifiques

---

(1) Pour éviter tout malentendu, voici la phrase textuelle du docteur Brewster : « *Similar phenomena were exhibited in large pieces of transparent alum* » (page 4). Il désigne le sens des effets, dans les trois substances, en disant (page 5) « que les axes neutres coïncident avec les faces des cubes, et les axes dépolarisants avec leurs diagonales. » Or, ce que le docteur Brewster appelle axes neutres, répond à ce que nous appelons en France la section principale du cristal. Car, dans son Mémoire sur la dépolarisation de la lumière par transmission, inséré aux *Transactions philosophiques de la Société royale de Londres* pour 1815, page 3, il dit comme exemple : « Dans le mica (probablement celui de Sibérie), les axes neutres coïncident avec les diagonales de sa base rhomboïdale primitive; dans le spath calcaire, les axes neutres coïncident avec les diagonales de ses faces rhomboïdales, et les axes dépolarisants sont parallèles aux côtés de ces mêmes faces. » J'ai traduit ces indications par les dénominations correspondantes que nous employons.

ayant mis à sa disposition plusieurs centaines de cristaux d'apophyllite, tant incomplets que complets, présentant toutes les variétés possibles de forme, et provenant de toutes les localités où ce minéral se trouve, il leur appliqua de nouveaux procédés d'observation, même microscopiques. Non-seulement il retrouva ainsi les premiers phénomènes qu'il avait découverts; mais les cristaux complets et limpides qu'il pouvait étudier dans tous les sens lui en présentèrent d'autres bien plus extraordinaires encore, qu'il a décrits et figurés avec toutes leurs particularités. Ses conclusions furent donc en partie les mêmes que dans son premier travail, c'est-à-dire qu'il y a des variétés d'apophyllite à un axe, à deux axes, et d'autres en forme de tesselite. Mais parmi celles-ci il en distingua une si complexe, qu'elle lui sembla constituée par des formes inconnues en cristallographie, desquelles la plus grande liberté d'imagination ne suffisait pas pour rendre compte. Ici, comme dans les Mémoires de 1816 et de 1819, le nombre ainsi que la situation des axes n'étaient pas établis sur des duplications d'images effectivement observées, mais sur les modifications éprouvées par la lumière polarisée lorsqu'elle traversait les cristaux suivant différentes directions sans éprouver de dédoublement rectiligne sensible.

L'annonce de ces résultats dut faire une grande sensation parmi les minéralogistes, qui trouvaient pour la forme primitive du sel gemme un cube, pour celle du spath-fluor et de l'alun un octaèdre régulier, et pour celle de l'apophyllite un prisme droit à base carrée. Car, ne pouvant leur attribuer aucune autre forme sans violer les règles les plus constantes de la cristallographie, ils devaient supposer qu'on observe-

rait toujours et uniquement dans les trois premières substances la réfraction simple, et dans la quatrième la double réfraction à un seul axe dirigé suivant l'axe du prisme constituant; propriétés toutes différentes de celles que le célèbre physicien d'Écosse venait d'y découvrir.

Enfin, dans les *Transactions philosophiques d'Édimbourg* pour 1824, page 187, le docteur Brewster publia un remarquable Mémoire sur l'*analcyme*, où il annonça que ce minéral, dont la molécule intégrante était considérée comme cubique, non-seulement agissait sur la lumière polarisée, mais opérait même une double réfraction réelle et observable sur la lumière naturelle qui le traversait suivant certaines directions qu'il assigna. Ce dernier phénomène parut donc encore renverser, d'une manière plus décisive et plus évidente, les relations jusqu'alors admises entre la forme des solides élémentaires et l'existence de la double réfraction; car les principes de la cristallographie se refusent absolument à leur attribuer, dans l'analcyme, une configuration dissymétrique. Néanmoins, en étudiant le travail du docteur Brewster, les cristallographes auraient pu remarquer qu'il assigne à cette double réfraction de l'analcyme des caractères particuliers de développement, qui la distinguent de la double réfraction moléculaire habituelle à un ou à deux axes, en ce qu'elle ne s'exerce pas également, comme celle-ci, autour d'une ou de deux droites, menées en chaque point du cristal suivant des directions parallèles entre elles, mais qu'elle semble se rapporter à certains plans fixes et localement déterminés dans la masse totale, distinction que le docteur Brewster a lui-même judicieusement signalée. Il restait donc à examiner si de tels phénomènes, appartenant au

cristal entier comme masse, étaient réellement liés à la configuration des solides élémentaires; ou s'ils ne provenaient pas plutôt de quelque action physique résultante d'un mode d'agrégation, régulier aussi mais non individuel, qui serait établi entre des assemblages complexes de ces mêmes solides, suivant des sens fixes mais divers, en différents points du cristal total. Il ne paraît pas que les minéralogistes aient eu cette pensée; et s'ils l'avaient eue, l'excessive rareté des cristaux d'analcyme réguliers et limpides, jointe à leur petitesse habituelle, ne leur aurait pas permis d'en suivre le développement par l'expérience, avec une certitude suffisante pour les rassurer. Il fallait donc attendre qu'un hasard heureux nous montrât l'existence d'une action semblable ou analogue, dans des cristaux d'une nature assez commune et d'un volume assez considérable pour que l'on pût constater aisément les lois suivant lesquelles elle s'exerce, en les coupant et les observant dans toutes sortes de directions. Ces conditions se trouvent réunies dans l'alun ammoniacal. Aidé de ce secours, j'espère pouvoir dissiper les doutes des cristallographes pour les divers cas que j'ai plus haut rappelés, et rétablir la réalité des relations qu'ils avaient admises entre la forme primitive et l'existence de la double réfraction moléculaire telle que je l'ai définie. Mais je ne le ferai pas sans avoir rendu auparavant un complet hommage aux beaux travaux du docteur Brewster sur le même sujet. Je ne partage pas les sentiments de ces esprits légers ou jaloux qui, lorsque le temps a dévoilé de nouveaux phénomènes, ou lorsque des conceptions plus générales ont remplacé des indications qui avaient d'abord paru suffisantes, se plaisent à rabaisser les services des premiers inventeurs, en élevant l'édifice de

leur dédain sur ces progrès mêmes, auxquels souvent ils n'ont pas contribué. Il est maintenant bien plus facile d'analyser et de classer des phénomènes de polarisation ou de double réfraction, qu'il ne l'était il y a vingt ans ou vingt-cinq ans, lorsque le docteur Brewster publia les divers Mémoires dont j'ai rappelé plus haut les résultats. On connaît aujourd'hui exactement les lois et les caractères distinctifs des deux sortes de double réfraction, à un ou à deux axes, que l'on peut appeler *moléculaires*, parce qu'elles sont exercées avec une énergie égale, et dans les mêmes sens, par les plus petites agrégations sensibles des solides élémentaires qui composent les corps cristallisés doués de ce pouvoir. On sait comment elles développent des phénomènes de coloration dans la lumière polarisée, par quelles intermittences périodiques elles agissent, et quel sens de polarisation apparente ou réelle leur action imprime aux rayons transmis. On a reconnu que la simple compression ou l'expansion, artificiellement opérées, dans des corps cristallisés ou non cristallisés, peuvent y développer une double réfraction accidentelle, suivant des sens prévus. On sait que plusieurs autres causes, par exemple la réfraction simple associée à la réflexion totale et peut-être partielle, développent dans la lumière polarisée des effets intermittents qui modifient les couleurs des lames minces douées de la double réfraction moléculaire. Je viens de montrer aussi que la superposition naturelle des lames cristallines imprime à la lumière polarisée qui traverse leurs interstices, des propriétés intermittentes, d'où résultent des phénomènes de coloration analogues aux précédents, et aptes à les modifier par leur association. Probablement, beaucoup d'autres circonstances qui nous sont

encore inconnues peuvent déterminer des effets semblables, au moins pour nos sens ; et l'on ne saura les distinguer que par leurs lois propres. Mais déjà celles de ces lois que nous possédons étant appliquées aux résultats antérieurs à leur découverte, serviront utilement pour analyser les causes complexes qui ont concouru à les produire. J'espère qu'elles suffiront, dès aujourd'hui, pour rétablir entre la réfraction moléculaire double ou simple et les formes primitives des cristaux, ces belles relations que l'on avait d'abord admises, et que l'observation ultérieure de phénomènes complexes pouvait paraître infirmer. Je vais donc, dans cette intention, reprendre successivement l'étude des corps cristallisés où ces phénomènes se produisent (1).

---

(1) Après que j'eus donné lecture de l'exposition précédente dans une séance de l'Académie, M. Dufrénoy présenta à ce sujet des remarques scientifiques qui ont été imprimées dans le Compte rendu. Il m'a semblé utile de les reproduire ici textuellement, avec la réponse que j'y ai faite, et qui marque la différence de nos positions respectives dans une discussion de cette nature. Je ne reproduis toutefois ce document qu'après avoir obtenu l'agrément de M. Dufrénoy.

REMARQUES DE M. DUFRÉNOY.

Le Mémoire de M. Biot fait disparaître une anomalie signalée par M. Brewster dans les lois qui existent entre la forme cristalline des minéraux et leurs propriétés optiques. Mais outre cet intérêt puissant, il nous en présente un autre, c'est d'avoir rappelé les grands travaux de Haüy. Seulement M. Biot a été timide dans la justice qu'il a rendue au fondateur de la cristallographie. Il semble croire, comme on s'est plu à le répéter depuis une quinzaine d'années, qu'il existe deux systèmes de cristallo-

§ IV.

Analyse expérimentale des phénomènes de polarisation produits en vertu d'une action non moléculaire par les cristaux appartenant au système régulier.

Je considère d'abord les substances cristallines, dont la forme génératrice, déterminée par le clivage, ou par les

---

graphie, celui de Haüy et celui des minéralogistes allemands : la parole de M. Biot jouit d'une si juste autorité, que je crois utile de relever ce que son assertion a de trop absolu. Les principes cristallographiques posés par Haüy non-seulement subsistent toujours, mais ils sont encore presque les seuls qui servent de base à la science qu'il a créée; depuis ses travaux on a ajouté quelques considérations intéressantes à l'étude des cristaux, mais on a constamment adopté ses idées, en modifiant, il est vrai, soit la manière de les présenter, soit les dénominations qu'il avait admises. En effet, aux *six formes primitives* dont dérivent tous les cristaux naturels et artificiels, on a substitué *six types cristallins* qui y correspondent exactement.

La loi de symétrie des cristaux qui consiste dans la position identique des faces analogues a été conservée dans son entier.

La relation des faces secondaires et des faces primitives, ou des types cristallins, relation qui a une certaine analogie avec les lois qui président aux combinaisons de l'oxygène et des bases, est encore presque toujours vraie. Quelques personnes n'admettent plus la considération des décroissements, c'est-à-dire la formation des formes secondaires par l'application de lames successives composées de petits cristaux élémentaires analogues à la forme primitive. Cette idée ingénieuse rend peut-être encore plus raison du phénomène inconnu de la cristallisation que toute autre; mais elle sert en outre à Haüy de moyen pour déterminer la position des faces les unes par rapport aux autres. Les minéralogistes allemands, au lieu de

conditions de correspondance, est un polyèdre constitué similairement autour de trois axes rectangulaires, se coupant en un point également distant de toutes ses faces. Cette triple symétrie existe dans toute la nombreuse classe de cristaux dont les minéralogistes allemands composent leur système cristallin régulier, et auxquels Haüy assigne pour forme primitive le tétraèdre ou l'octaèdre, réguliers tous deux, le dodécaèdre rhomboïdal, ou le cube; soit que ce

---

définir les faces par cette méthode, indiquent les points où elles coupent les axes des cristaux; c'est surtout cette considération des axes qu'on regarde comme nouvelle, et c'est là, suivant beaucoup de personnes, la différence capitale entre le système de Haüy et celui des minéralogistes allemands. Mais on se trompe à cet égard. Haüy, dans plusieurs circonstances, surtout pour toutes les *formes octaédriques*, rapportait les cristaux à leurs axes; et pour les autres formes, s'il n'employait pas le mot même d'*axes*, ces lignes importantes entraient dans la composition de ses figures. Ainsi, pour calculer la loi de décroissement d'un cristal, il construisait un *triangle mesurateur* donné par un plan coupant, passant par l'*axe* de ce cristal et mené perpendiculairement à l'intersection des faces primitive et secondaire dont il voulait déterminer la loi de dérivation. Ce triangle avait pour côtés : 1° l'intersection de la face primitive et du plan coupant; 2° l'intersection de ce même plan et de la face secondaire; 3° l'*axe du cristal*. La résolution de ce triangle donnait à Haüy le nombre de rangées soustraites, et il disait : La face *a* naît sur P par un décroissement de *m* rangées en hauteur sur *n* en largeur. On dit, en se servant des axes, la face *a* coupe l'axe à la longueur $\frac{m}{n}$: on voit qu'il y a presque identité. La méthode de calculer a, il est vrai, changé : Haüy se servait principalement de la géométrie; beaucoup de minéralogistes se servent de la trigonométrie sphérique. M. Naumann emploie l'analyse appliquée. Ces différentes méthodes de calcul peuvent être plus commodes, mais elles

dernier ait tous ses angles solides également modifiables, soit que les opposés étant inégalement modifiables, ils offrent deux espèces distinctes, symétriquement réparties entre les huit sommets, comme dans la magnésie boratée.

Je dis maintenant qu'un cristal homogène, construit sans discontinuité avec des polyèdres générateurs soumis aux conditions précédentes, ne peut exercer la double réfraction moléculaire soit à un axe, soit à deux axes. En effet, la triple

---

ne constituent pas une différence dans le principe cristallographique; du reste, on ne pouvait pas encore les désigner sous le nom de méthodes allemandes : Malus s'est servi de la trigonométrie sphérique, et c'est à M. Lamé qu'est due la première application de l'équation des lignes et des plans aux calculs cristallographiques (1).

Les relations personnelles que j'ai eu l'honneur d'avoir avec plusieurs des plus célèbres minéralogistes de l'Allemagne me permettent de dire que jamais ils n'ont prétendu avoir renversé ou changé le système de cristallographie de Haüy : ils y ont seulement ajouté quelques considérations qui le complètent. Du reste, la détermination d'un grand nombre de minéraux nouveaux, la séparation du feldspath en plusieurs espèces, l'application du calcul atomique à la composition des minéraux, les théories du dimorphisme et de l'isomorphisme sont d'assez beaux titres, pour qu'ils n'aient rien à nous envier. Je crois donc devoir insister sur les travaux de Haüy, et dire que les principes qu'il a posés sont encore aujourd'hui ceux qui servent de base à la minéralogie cristallographique.

M. Biot remercie M. Dufrénoy des observations qu'il vient de lui adresser, et il se félicitera de les voir insérées au *Compte rendu*. Il prie seulement M. Dufrénoy de vouloir bien remarquer que leur position à

(1) *Sur une nouvelle manière de calculer les cristaux ;* par M. Lamé, ingénieur des mines (*Annales des Mines*, tome IV, page 64, année 1819).

symétrie de ces générateurs n'est que l'expression d'une symétrie pareille, existante dans la structure intime du cristal, et manifestée jusque dans les accidents de sa configuration externe. Donc, si l'on suppose la double réfraction à un axe, cet axe unique étant donné, on pourra mener, en chaque point du cristal, deux autres droites, *au moins,* autour desquelles il sera moléculairement construit de la même manière, et devra agir similairement sur les éléments lumineux. Ainsi, les conditions absolues de polarisation et de vitesses, assignées à ces éléments par la nature du phénomène, devront être réalisées, à la fois, autour des trois droites, en chaque point du cristal, ce qui implique contradiction. Si l'on suppose la double réfraction relative à deux axes, quand ceux-ci seront donnés, on pourra toujours assigner deux autres couples de droites, *au moins,* autour desquelles le cristal sera constitué de la même manière et devra

---

tous deux est bien différente. Mes expériences, dit M. Biot, ayant pour but de rétablir entre les formes primitives, et la réfraction moléculaire double ou simple, une relation qui avait paru infirmée, j'ai été dans la nécessité de rappeler l'emploi que Haüy assignait à ces formes dans la construction des cristaux ; et je ne pouvais le faire sans mentionner aussi la doctrine allemande, qui évite de s'appuyer sur cette construction. J'ai tâché de caractériser, le moins inexactement qu'il m'a été possible, la marche apparente des deux méthodes ; mais il ne m'appartenait pas de les juger, au lieu que M. Dufrénoy le peut faire. Si, comme je crois le comprendre, il rattache la seconde méthode à la première, et l'en fait dériver, cette connexion donnera plus de sécurité à l'une et à l'autre, en même temps qu'elle rendra justice au premier inventeur, trop déprécié. Mais je n'avais ni la science, ni l'autorité nécessaires pour établir ces rapports et fixer ces droits.

agir similairement. De sorte que, dans ce cas encore, la multiplicité exigée par la triple symétrie exclura la possibilité de l'action unique. Si donc on observe des phénomènes de polarisation, et même des duplications d'images, dans certains corps cristallisés appartenant à ces formes symétriques, ils doivent être étrangers aux deux sortes de double réfraction, produites par l'agrégation uniformément continuée des molécules constituantes. Ils doivent appartenir à des groupes d'un autre ordre, entre lesquels la continuité de l'apposition moléculaire aura été détruite par quelque circonstance locale; et ainsi, ils ne seront plus en relation avec les formes génératrices elles-mêmes. On va voir que l'expérience confirme cette induction dans tous les cristaux de cette classe, que leur volume et leur transparence permettent d'étudier suffisamment.

Le sel gemme.

Selon ce que le docteur Brewster rapporte, ses expériences sur ce minéral ont été faites sur de grosses masses, de dimensions diverses, ayant depuis un pouce jusqu'à trois pouces anglais d'épaisseur. Elles lui ont, dit-il, présenté *toutes* les mêmes phénomènes que le spath-fluor, dont je parlerai tout à l'heure; les axes dépolarisants coïncidant avec les diagonales des faces carrées, et les axes neutres avec leurs arêtes; ce qui, dans notre langage actuel, signifie que la section principale optique était dans le plan d'une des faces du cube et perpendiculaire à l'autre. Pour rapporter ces apparences à une double réfraction moléculaire, il aurait fallu les étudier, dans les mêmes masses, suivant des sens

transverses, et analyser leurs variations. Mais le docteur Brewster ne paraît pas avoir fait ces épreuves; et il est fort concevable qu'il n'en ait pas senti alors la nécessité. Je suis loin de m'accorder avec lui sur l'uniformité de ce genre d'action, non plus que sur les caractères qu'il lui attribue.

J'ai opéré sur quelques cristaux venus d'Espagne, mais sur un beaucoup plus grand nombre tirés des salines de l'Est, que j'ai trouvés dans le commerce, ou que j'ai dus à l'obligeance de M. l'ingénieur le Vallois, directeur de ces mines, lequel a parfaitement décrit l'énorme masse cristalline qui les constitue. Comme les effets optiques des plus gros cristaux sont toujours très-faibles, je leur ai appliqué le même procédé que j'avais employé dans mes premières expériences sur les petits octaèdres d'alun des laboratoires, c'est-à-dire, que je les ai fait réagir sur les teintes propres d'une lame de chaux sulfatée prise au degré de minceur où les variations de ces teintes sont les plus sensibles. J'ai d'ailleurs disposé l'appareil d'observation ainsi que je l'avais fait alors, et comme je l'ai expliqué page 540, ainsi que dans la fig. 2. Avec ces préparations, dans plusieurs kilogrammes de cristaux de sel que j'ai étudiés, soit en masses, soit en morceaux extraits par le clivage, je n'ai pas trouvé un seul fragment ayant une épaisseur de quelques millimètres qui ne modifiât très-manifestement la lumière polarisée. Mais leurs effets étaient fort divers; et ils étaient généralement opérés par la réunion de plusieurs causes que j'ai pu distinguer les unes des autres par leur mode d'action.

D'abord on en observe souvent qui sont dus à un état général et forcé des masses, comme si elles avaient cristallisé sous une pression externe, dont l'influence aurait per-

sisté, ou dans une température élevée, suivie d'un refroidissement inégal. Ce second genre de modification peut être reproduit artificiellement sur les cristaux tout formés, et il leur donne, de même, des propriétés permanentes. Mais on reconnaît leur cause, comme dans le verre trempé, en subdivisant la masse totale par des sections faites suivant l'axe de vision. Car les portions ainsi séparées ne produisent plus les mêmes phénomènes que lorsqu'elles étaient réunies en un seul système.

Deuxièmement, lorsque l'on incline les parallélepipèdes cristallins sur la direction du rayon transmis, s'il peut entrer par une de leurs faces et sortir par la face parallèle, après avoir subi intérieurement une ou plusieurs réflexions totales sur les faces transverses, il éprouve des modifications dues à ce genre d'alternatives, qui atteignent leur maximum d'intensité quand le plan où elles s'opèrent fait un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif. Des phénomènes pareils se produisent aussi dans l'intérieur des masses, lorsqu'il s'y opère des alternatives analogues de réfraction et de réflexion totale sur les plans de clivage parallèles aux faces du cube primitif. Ils y sont même souvent plus complexes, par le mélange des deux circonstances qui y concourent ainsi en sens opposés, et qui paraissent agir entre des lames cristallines contiguës, autrement que dans les intermittences brusques, où l'on a étudié jusqu'ici leurs effets. On observe des résultats analogues, sans relation avec les faces externes, ni avec les plans ordinaires de clivage, dans des masses même limpides, et sans discontinuité lamellaire apparente, lorsqu'elles contiennent des portions dont les systèmes cubiques propres ne coïncident pas tout

à fait en direction, ce que l'on reconnaît extérieurement par les ondulations prismatiques, et comme moirées, que présentent alors les surfaces, mises à nu par le clivage mécanique, même lorsqu'on les a polies suivant un plan parfait.

Tous les phénomènes que je viens de décrire sont, par leur nature, accidentels; et aussi se présentent-ils avec ce caractère dans les observations. Mais il en est d'autres, sinon plus constants, du moins plus habituellement opérés dans certaines directions fixes, parce qu'ils résultent de l'état lamellaire plus ou moins inégal que le système cubique du sel gemme peut recevoir suivant ces directions.

D'après les effets de ce genre observés dans l'alun ammoniacal, page 592, selon que les systèmes lamellaires coexistants ont leurs plans de réfraction tournés dans le même sens ou dirigés à angles droits, on conçoit qu'ils devront être nuls dans un cristal à forme primitive cubique, dont tous les clivages théoriques de même ordre offriraient en chaque point une égale intimité, parce qu'il y aurait toujours compensation entre les sections rectangulaires. Mais il est physiquement presque impossible qu'une telle égalité se soutienne rigoureusement dans toute une masse de quelque épaisseur; et en chaque point où elle est troublée, il doit se manifester des phénomènes de polarisation dont le sens est déterminé par le système lamellaire dont l'action domine.

Ces inégalités se décèlent souvent par des accidents intérieurs qui les rendent visibles. Tout le monde connaît la disposition du sel marin à cristalliser en systèmes lamellaires infundibuliformes, offrant dans leur ensemble l'aspect d'une trémie à pans rectangulaires, dont les tubes constituants sont placés les uns au-dessus des autres en étages, ne

se touchant que par une arête. Les circonstances qui déterminent ce mode de superposition, dans les solutions libres, en contact avec l'air extérieur, ont été parfaitement décrites par Rouelle dans les Mémoires de l'Académie des sciences pour 1745. Or, un arrangement pareil, ou du moins analogue à celui-là, existe souvent dans certaines parties intérieures des masses de sel gemme; et alors ces parties semblent composées d'une somme de trémies emboîtées les unes dans les autres, dont les cadres sont quelquefois visibles suivant les deux sens rectangulaires du clivage cubique, d'autres fois suivant un seul. Quand cet état existe, il en résulte deux systèmes lamellaires distincts, dont les plans sont rectangulaires entre eux; et ainsi, quand on dirige ces plans suivant l'axe de vision, en les tournant à 45° du plan de polarisation primitif, chacun d'eux doit produire des effets dominants dans son sens propre, comme les systèmes lamellaires de l'alun ammoniacal. C'est aussi ce qu'on observe. Seulement dans le sel gemme ils sont beaucoup plus complexes: d'abord, parce qu'ils se composent avec tous ceux que j'ai décrits plus haut; ensuite, parce que les deux systèmes rectangulaires se pénétrant, les rayons qui les traversent tous deux à la fois, en diverses parties de leur étendue, et sous des inclinaisons différentes, éprouvent des successions de résultats alternativement contraires, dont je n'oserais assigner les périodes. Mais la condition lamellaire spéciale qui détermine ces phénomènes, comme aussi le sens suivant lequel ils sont opérés, suffisent pour montrer qu'ils n'ont rien de moléculaire, et pour les assimiler à leurs analogues, dans les systèmes isolés. Je suis très-porté à croire, sans l'affirmer pourtant, que ce sont eux que le docteur Brewster

a vus et décrits ; les résultantes d'actions parallèles aux faces du cube primitif, lui ayant fait concevoir une opposition correspondante de constitution attractive et répulsive dans les plages rectangulaires d'un même cristal.

Indépendamment de ces phénomènes, plus ou moins manifestes, il s'en opère d'autres suivant les plans qui passent par les arêtes pyramidales des trémies emboîtées ; comme cela se voit dans l'alun, à la surface de jonction des systèmes lamellaires propres à deux faces contiguës de l'octaèdre. Ceux-ci, dans le sel gemme, se montrent, ou du moins acquièrent leur maximum d'intensité, quand les diagonales des faces cubiques qui contiennent les plans dont il s'agit, sont tournées à 45° du plan de polarisation primitif, auquel cas les phénomènes produits par les pans des trémies s'évanouissent, parce que leurs plans de réfraction se trouvent alors perpendiculaires ou parallèles à ce même plan de polarisation. Ces plans diagonaux sont quelquefois visibles à l'œil ; d'autres fois ils sont d'abord invisibles ; mais ensuite ils se manifestent par leur action, quand le clivage latéral, qui est alors toujours difficile à opérer, fait naître quelque fissure diagonale qui se trouve presque toujours répétée à angle droit dans quelque autre partie de la masse, physiquement ou optiquement. Lorsque ces clivages diagonaux sont invisibles à l'œil, et se décèlent seulement par leur action optique, on ne trouble pas leurs effets en clivant le cristal par une section parallèle à ses faces, et dirigée suivant l'axe de vision, ce qui prouve que les modifications qu'ils impriment à la lumière polarisée, résultent d'une disposition lamellaire locale, et non pas d'une réaction opérée entre toutes les parties de la masse du cristal, comme cela a lieu dans le verre trempé.

Tous les phénomènes que je viens de décrire, peuvent coexister dans une même masse de sel gemme; et si elle a quelque épaisseur, on les trouve presque toujours associés, quand on soumet la lumière polarisée aux moyens délicats d'analyse indiqués plus haut. Toutes les causes diverses qui les produisent sont d'une telle nature que leurs actions simultanées et successives sur un même filet lumineux, peuvent modifier mutuellement les impressions qu'il en reçoit; et comme leur distribution locale, dans les masses, est complétement arbitraire, les effets complexes qui en résultent, ne sont soumis à aucune loi constante. La chance de les voir se produire est d'autant moindre que les morceaux observés sont plus petits; et je n'en ai plus trouvé aucune trace dans des cubes de deux ou trois millimètres d'épaisseur, parfaitement limpides, qui avaient été obtenus par précipitation dans le laboratoire de l'École polytechnique.

Telle est l'analyse que j'ai pu faire des phénomènes de polarisation, opérés par les masses de sel gemme. On sera peut-être aussi surpris que je l'ai été moi-même, de voir qu'elle ait exigé tant de détails. Mais, à mesure que nos moyens d'observation deviennent plus délicats, nous apercevons presque toujours que l'apparente simplicité des phénomènes naturels était purement relative à notre ignorance. Ici même je suis loin de croire les avoir tous éclaircis. Car, outre les effets opérés par l'action des systèmes lamellaires que j'ai dernièrement signalée, et dont j'ai ici appliqué les caractères distinctifs, il est très-présumable qu'il s'en produit aussi par des réflexions successives dans ces mêmes systèmes dont nous ne connaissons pas encore les lois, non plus que celles d'autres actions, résultant de la seule discontinuité

des particules constituantes. Toutefois, cette analyse ramenant déjà la plupart des phénomènes observés dans le sel gemme, à des causes maintenant connues et indépendantes de la double réfraction moléculaire, sans qu'on y trouve associé aucun caractère géométrique, qui décèle l'existence d'une telle réfraction, cela suffit pour conclure qu'on ne serait pas fondé à l'y supposer coexistante avec la forme cubique, ce qui est l'unique conséquence que je voulais établir.

LA CHAUX FLUATÉE, OU SPATH-FLUOR.

Les cristaux continus de chaux fluatée présentent généralement et uniquement quatre directions de clivage, également nettes comme également faciles, lesquelles forment entre elles les angles dièdres de l'octaèdre régulier, ce qui, joint à la constante symétrie de leurs modifications externes, a fait assigner ce solide pour leur forme primitive. On les trouve souvent en masses cubiques, qui peuvent théoriquement se dériver de l'octaèdre par des appositions de lames parallèles aux faces primitives, comme cela a lieu pour l'alun cubique, et alors on les représente d'ordinaire par ce genre de formation. Mais il n'est pas certain qu'ils soient toujours le produit d'une construction pareille. Car, dans la belle collection de M. de Drée, on voit de ces masses cubiques qui sont elles-mêmes formées par l'apposition de petites lames rectangulaires, parallèles aux faces du cube résultant; comme aussi on y voit des octaèdres formés par des lames de décroissement composées d'éléments cubiques et appliquées sur les faces d'un cube central, ainsi que l'on a coutume de représenter les octaèdres réguliers dérivés du cube.

Cette alternative de formation est indifférente à la cristallographie mathématique, qui, pouvant à volonté faire dériver la configuration externe de l'une ou de l'autre forme génératrice, choisit celle qui donne le plus de simplicité aux calculs de déduction. Mais la nature réelle du mode de construction est au contraire très-importante pour la cristallographie physique; car c'est de là que résultent les directions des systèmes lamellaires dominants, qui agissent sur la lumière polarisée. En conséquence, pour analyser ces actions optiques dans la chaux fluatée, aussi complétement que dans l'alun, il faudrait pouvoir étudier de même des octaèdres et des cubes limpides qui fussent formés naturellement par les divers modes d'apposition que je viens d'indiquer. Mais de pareils cristaux doivent être d'autant plus rares dans les collections, que la minéralogie n'a vu jusqu'ici aucun intérêt à les distinguer des autres, ni même à s'inquiéter, presqu'en aucune façon, de leur structure interne. Il a donc fallu me borner à étudier ceux que l'on possédait, pour démêler les divers effets qu'ils produisent sur la lumière polarisée, et les rapporter à leurs véritables causes. M. A. Brongniart et M. Dufresnoy m'ont communiqué, avec une obligeance sans réserve, tout ce qui pouvait servir à ce but, dans les collections publiques dont ils sont les conservateurs; et M. le marquis de Drée m'a ouvert la sienne avec sa générosité connue de tout le monde, de sorte qu'à défaut d'une étude complète, je crois du moins avoir eu des éléments suffisants pour exclure tout soupçon d'une double réfraction moléculaire, associée au système cristallin symétrique de la chaux fluatée.

En vertu de cette symétrie même, dans un cristal de ce

minéral constitué continûment, tout système lamellaire réalisable par le clivage, ou seulement supposable théoriquement, aura son correspondant rectangulaire, qui devra neutraliser son action sur la lumière polarisée, à moins que l'un d'eux ne domine accidentellement dans certaines parties de la masse totale ; et alors la modification résultante devra être opérée perpendiculairement au plan de réfraction du système dominant, de manière à atteindre son maximum d'intensité lorsqu'il sera dirigé dans un azimut de $\pm 45^{\circ}$ autour du plan de polarisation primitif. On va voir que cela a lieu en effet ainsi.

J'exclus d'abord les phénomènes que l'on peut appeler accidentels, et qui, ici comme dans le sel gemme, seraient dus à un état forcé de la masse, ou à des réflexions totales opérées sur ses faces externes et associées à des réfractions simples. J'exclus aussi ceux de cette seconde classe, qui souvent s'opèrent de la même manière dans des fissures octaédriques visibles à l'œil, quoique ayant encore leurs plans assez intimement joints pour laisser passer la lumière. Mais, outre ces phénomènes, dont la cause est évidente, il s'en produit d'analogues dans les masses les plus limpides, sans fissures perceptibles à l'œil, par la seule différence d'intensité des systèmes lamellaires parallèles aux clivages octaédriques. On les reconnaît au sens des modifications qu'elles impriment à la lumière polarisée, quand on la soumet aux moyens délicats d'analyse indiqués plus haut ; et lorsqu'on est prévenu ainsi de leur existence, on découvre presque toujours, dans la masse attentivement étudiée, des traces de fissures très-fines, parallèles entre elles, qui décèlent le principe de l'action. J'en présenterai ici comme exemple une plaque octaédrique de

chaux fluatée, d'une limpidité remarquable, obtenue par le clivage mécanique, et taillée perpendiculairement à l'axe de l'octaèdre, où des effets pareils sont ainsi produits. Ces octaèdres artificiels étant déduits de trois clivages presque également intimes, on conçoit que leurs faces externes ne peuvent pas présenter des systèmes lamellaires dominants suivant chacune d'elles, jusqu'à une certaine profondeur, comme les octaèdres naturels d'alun ammoniacal, où de pareils systèmes se montrent visiblement à l'œil, parallèles à chaque face externe; et ainsi on ne doit pas s'attendre qu'en les taillant perpendiculairement à une de leurs arêtes, on y observera ces effets de polarisation colorée, dirigés suivant les faces contiguës, qui apparaissent avec tant d'éclat dans ce sens de coupe de l'alun. Il ne peut s'y manifester que de faibles actions, de même ordre que sur toute autre coupe, et pareillement dépendantes des accidents intérieurs. C'est encore ce que l'on peut constater sur cette plaque même, que j'ai exprès fait tailler ainsi. Mais on peut agrandir artificiellement ces effets, en déterminant une plus grande inégalité entre les systèmes de clivage rectangulaires, comme on le voit sur deux autres octaèdres de constitution pareille, que je mets sous les yeux de l'Académie. Ils étaient d'abord tous deux d'une limpidité complète; et les inégalités naturelles de leurs systèmes lamellaires ne produisaient que de faibles effets irréguliers, à peine appréciables, même en combinaison avec la lame de chaux fluatée sensible, que je suppose toujours employée à manifester ces actions. Je les ai posés quelques instants, par une de leurs faces, sur une lame de fer faiblement chauffée; puis je les ai mis en contact par cette même face avec une autre lame froide, et j'ai versé sur eux

quelques gouttes d'alcool. Le refroidissement brusque ainsi opéré y a excité un frémissement intestin qui a desserré leurs clivages octaédriques, en y introduisant des différences inévitables d'intimité. Aussitôt leurs actions sur la lumière polarisée, ne se compensant plus aussi exactement qu'auparavant, il en est résulté des effets locaux bien plus manifestes, distribués sur toute la surface de projection, irrégulièrement, mais dans des sens toujours rectangulaires, comme les clivages inégalement intimes qui les produisaient; et l'on peut s'en convaincre sur ces octaèdres mêmes dans leur état actuel.

Il me restait à étudier les phénomènes de polarisation opérés par les masses de chaux fluatée cubique, d'autant plus attentivement, que c'étaient des observations faites sur de pareilles masses qui avaient conduit le docteur Brewster à y supposer l'existence de la double réfraction, tant attractive que répulsive. Indépendamment de tous les effets que je viens de décrire, et qui s'y manifestent presque toujours avec plus ou moins d'irrégularité, par suite des inégalités naturelles de leurs clivages octaédriques, on voit dans la plupart de ces masses, je dirais volontiers dans toutes, des apparences de couches planes parallèles à leurs faces externes. Je dis des apparences, parce qu'on ne sait pas bien si elles sont produites par des systèmes lamellaires réels ainsi disposés, ou si ce ne seraient pas des traces de plans distincts, parallèles entre eux et placés en retraite les uns sur les autres, de manière à former un système intérieur pyramidal, à peu près comme dans certains échantillons de sel gemme; d'autant que les surfaces externes des cubes de chaux fluatée présentent presque toujours des stries placées

ainsi en retraite, parallèlement à leurs arêtes. Quoi qu'il en puisse être, puisque ces traces de système lamellaire réel ou apparent sont parallèles aux faces des cubes, leur sens d'action propre sur la lumière polarisée est défini par leur direction même. Elles ne doivent pas troubler l'état du rayon transmis, lorsqu'elles sont parallèles ou perpendiculaires à son plan de polarisation primitif; et elles doivent manifester leur maximum d'effet quand elles forment un angle de 45° avec ce plan. Enfin, si on les combine, dans ces positions, avec une lame de chaux sulfatée sensible, ayant sa section principale dirigée suivant ce même angle, un des systèmes devra modifier la teinte de cette lame par addition, l'autre par différence; et leurs effets s'intervertiront quand leurs situations angulaires seront interverties rectangulairement. Ce sont là exactement les résultats qu'on observe; et ils sont ainsi tout à fait conformes au mode d'action que l'on reconnaît dans les systèmes lamellaires isolés de l'alun. Seulement leurs apparences sont beaucoup plus complexes, parce qu'ils se combinent avec toutes les autres modifications analogues, produites simultanément dans la lumière polarisée, par les inégalités visibles ou invisibles des clivages octaédriques, par les défauts de continuité de la structure intime, et par toutes les irrégularités aussi bizarres que nombreuses que les cristaux de chaux fluatée présentent toujours lorsqu'ils ont quelque épaisseur. J'ai déjà fait remarquer, en parlant du sel gemme, combien nous sommes loin de pouvoir assigner les résultats optiques d'un concours d'actions si diverses et si accidentées. Je n'oserais pas même affirmer absolument que les systèmes lamellaires réels ou apparents, qui sont parallèles aux faces des cubes dans la chaux fluatée, exercent

une action propre de même sens que ceux de l'alun ammoniacal, c'est-à-dire, pareille à celle d'une lame mince douée de la double réfraction attractive, dont la section principale serait perpendiculaire au plan de réfraction actuel. Ce sens, près des faces des cubes surtout, m'a paru souvent être diamétralement contraire, c'est-à-dire, pareil à celui d'une lame répulsive; ou encore, tel que le produiraient de simples réflexions. Mais la complication des causes physiques qui peuvent agir simultanément près des limites externes des masses cristallines, ne m'a pas permis de décider cette alternative. Dans les cubes d'alun même, on remarque aussi toujours une enveloppe superficielle extrêmement mince, dont le sens d'action propre forme un angle de 45° avec le sens d'action des systèmes lamellaires intérieurs; de sorte que les effets de polarisation produits par cette croûte externe, acquièrent leur maximum d'intensité quand les intérieurs sont insensibles, et inversement. Mais la constitution, tant externe qu'interne, des corps cristallisés, a été si peu étudiée jusqu'ici, que nous devons bien nous attendre à y trouver beaucoup de particularités imprévues; et il ne serait pas du tout étonnant que leur surface externe, où l'acte de la cristallisation s'est terminé, présentât des conditions spéciales, liées à cette limitation même. Dans cette imperfection de nos connaissances, les analogies expérimentales que je viens de présenter me paraissent suffire pour ramener les principaux phénomènes de polarisation, produits par les cristaux de chaux fluatée, à leurs causes naturelles et véritables, et pour montrer qu'aucun de leurs caractères n'exige ou même n'indique l'existence d'une double réfraction moléculaire, soit attractive soit répulsive, qui serait exercée

par le système cristallin octaédrique auquel ce minéral appartient.

L'ALUN.

J'ai discuté, dans les premières sections de ce mémoire, les effets produits sur la lumière polarisée par les cristaux de cette substance, et l'on a pu voir qu'ils ne sont pas dus à une double réfraction moléculaire, mais à une action spéciale qu'exercent les lames cristallines superposées. Il me reste seulement à ajouter que l'alun, de même que le spath-fluor, se présente souvent en cristaux complexes, dont les systèmes lamellaires générateurs ne sont pas parallèles aux faces de la forme primitive, comme Haüy semble supposer en principe que cela a lieu généralement; quoique lui-même déroge à cette généralité quand il prend ses lames de décroissement, parallèles aux faces de certaines formes secondaires, pour rendre ses calculs de dérivation plus simples. Or, la cristallisation réelle admet en effet aussi ces différents modes de formation, comme j'en ai rapporté des exemples page 607 et suivantes. Ainsi, lorsqu'une pyramide octaédrique d'alun est naturellement tronquée perpendiculairement à son axe, ce qui la termine par un plan parallèle à l'une des faces du cube secondaire, on n'en doit nullement conclure que cette face terminale résulte d'une limitation égale et régulière, que les systèmes lamellaires parallèles à chacune des faces de la pyramide auraient éprouvée dans leur extension, comme on a coutume de l'admettre dans la cristallographie mathématique. La même configuration est quelquefois produite par la limitation d'un seul système

latéral, qui occupe alors toute la face de troncature, ou par un système lamellaire pyramidal, parallèle à cette face, qui pénètre en pointe dans la masse cristalline, jusqu'à une certaine profondeur, où il a commencé à se former et à s'insérer entre les systèmes lamellaires latéraux. Je présente à l'Académie plusieurs cristaux, où l'on peut reconnaître ces divers modes de construction, soit à leur simple aspect, par les accidents intérieurs qui s'y manifestent, soit en étudiant leur action sur la lumière polarisée. Quelquefois une configuration externe, parfaitement régulière et symétrique, résulte d'une construction intérieure bien plus compliquée encore que celle des cas précédents; et, en général, la complication augmente avec le nombre des faces secondaires. Je présenterai comme exemple des cristaux d'alun d'une apparence très-singulière, que M. A. L. Brougman avait recueillis autrefois dans une dissolution un peu trouble, dont il ne se rappelle plus aujourd'hui les conditions. M. Dufrénoy a bien voulu me caractériser cristallographiquement toutes leurs faces. Leur forme dominante est celle d'un octaèdre aplati, tronqué à ses angles parallèlement aux faces du cube secondaire, et chargé en outre de facettes appartenant au dodécaèdre rhomboïdal. On peut en prendre une idée dans les figures 35, 36 et 37, où les faces octaédriques sont désignées par la lettre *o*, celles du cube par la lettre *c*, celles du dodécaèdre par la lettre *d*. La première de ces figures représente le cristal vu en projection, *par-dessus,* le second vu *par-dessous,* en considérant comme inférieure, ou comme base, la plus grande de ses faces, qui est elle-même octaédrique. La troisième en donne une vue perspective. Or, une circonstance bien remarquable, c'est que la génération du

cristal s'est opérée à partir d'un point de l'axe excessivement voisin du centre de sa base octaédrique; de sorte que son expansion de ce côté de l'axe a été très-restreinte, et s'est portée presque totalement du côté opposé. On le reconnaît, parce que les six faces cubiques, tant les grandes que les petites, sont les lames terminales d'autant de systèmes lamellaires pyramidaux qui ont leur origine commune en ce point de l'axe, d'où *on les voit* s'étendre en divergeant au dehors, s'insérant ainsi par pénétration à travers les systèmes lamellaires octaédriques qui suivent leur disposition propre, parallèlement à chacune des faces qui leur correspondent. Les limites de ces systèmes, de nature différente, sont marquées sur la base par six lignes de jonction, qui rayonnent à partir du point central, étant inclinées les unes aux autres sous des angles de 60°. Le peu de distance du centre de génération au plan de la base rend très-petites les faces latérales *o*, *c*, qui s'appuient sur ce plan, comme le montre la figure 36. Mais il en est résulté en outre que le système lamellaire octaédrique parallèle au même plan, qui devait se terminer à la face basique, n'a pas pu se former avec continuité dans toute l'étendue superficielle qu'il était destiné à occuper. Les couches constituantes se sont arrêtées dans leur formation hexagonale, à des distances du centre inégales, et d'autant plus grandes qu'elles commencent plus loin de lui. Leurs limites successives tracent sur la base du cristal une série de stries hexagonales concentriques, très-rapprochées les unes des autres, qui sont indiquées dans la figure en lignes ponctuées; et, par une conséquence de leur extension inégale, comme de leur recouvrement partiel, la surface basique, au lieu d'être rigoureusement plane, a la

configuration d'une trémie hexagonale, sensiblement creuse, ayant ses six pans également inclinés sur l'axe central. Pour achever de décrire les particularités physiques de ces singuliers cristaux, j'ajouterai que toutes les faces cubiques externes ont pris un aspect nacré, probablement par une déperdition spéciale de leur eau de cristallisation; et le même caractère s'observe, quoiqu'à un moindre degré, dans les lames intérieures des systèmes lamellaires pyramidaux, qui aboutissent à ces faces. Au contraire, les faces octaédriques externes sont restées polies, transparentes, et les systèmes lamellaires dont elles font partie sont demeurés invisibles, ainsi que diaphanes dans leur contiguité. Cette dissemblance est très-essentielle à remarquer, parce qu'elle en nécessite une correspondante dans la constitution externe des lames qui composent les deux systèmes, soit que les octaèdres qui les constituent se présentent au dehors dans les uns par leurs pointes, dans les autres par leurs faces, et que cette situation diverse y rende le principe aqueux inégalement adhérent, soit que leur inégale aptitude à être altérés résulte seulement de l'inégale adhérence des lames qui composent chacun d'eux.

La singulière composition de ces cristaux se manifeste, comme on devait s'y attendre, dans leur action sur la lumière polarisée, quand on les met en combinaison avec la lame de chaux fluatée sensible; et cette action est parfaitement correspondante à leurs systèmes lamellaires divers. Pour en bien voir la régularité, il faut transmettre le faisceau polarisé suivant l'axe du cristal, perpendiculairement aux faces basiques o, ce qui donne pour surface de projection la figure 35. Alors les faces nacrées c, qui sont parallèles aux faces du cube, ainsi que les faces latérales octaédriques o, ne

laissent parvenir à l'œil aucun rayon, les premières à cause de leur opacité, les secondes à cause de leur trop grande inclinaison prismatique; de sorte que la surface de projection illuminée est bornée à la face supérieure octaédrique O; et c'est dans ce champ de vision seulement que les systèmes lamellaires parallèles aux faces latérales manifestent leur pouvoir. Or, on peut aisément prévoir les effets qu'ils doivent produire dans ces conditions d'observation. Car d'abord les systèmes lamellaires octaédriques, parallèles aux deux bases antérieure et postérieure, ne doivent point troubler la polarisation primitive, étant perpendiculaires aux rayons transmis. Quant aux systèmes latéraux, le sens de leur action sera toujours perpendiculaire à leur plan de réfraction actuel, et ils atteindront leur maximum d'énergie individuelle quand ce plan fera un angle de 45° avec la direction de la polarisation primitive. On pourra donc faire dominer chacun d'eux tour à tour, dans la plage qu'il occupe, en faisant tourner convenablement le cristal sur lui-même dans le plan de ses bases, perpendiculairement aux rayons transmis. L'expérience confirme ces prévisions avec une complète exactitude. Seulement elle montre qu'ici les systèmes lamellaires parallèles aux faces octaédriques surpassent toujours en énergie les systèmes parallèles aux faces du cube, soit en vertu d'une supériorité spécifique, soit parce que ces derniers systèmes n'agissent à travers le champ de vision que par les portions les plus voisines de leur origine commune, où leurs lames ont en conséquence moins de longueur. Il se produit en outre des actions mixtes aux limites de chaque secteur, où les systèmes de nature différente se rejoignent. Mais quoique les phénomènes qui en résultent

soient trop complexes pour être analysés, cette circonstance n'en est que plus en rapport avec la complication de leur cause, et elle se rattache aussi, comme confirmation, aux résultats simples que l'on peut prévoir.

L'AMMONIAQUE MURIATÉE.

La configuration des cristaux de ce sel, obtenus par l'art, et leurs modifications symétriques, les placent dans le système cristallin régulier comme les précédents; et Haüy leur assigne l'octaèdre régulier pour forme primitive. Cette circonstance, jointe à la présence de l'ammoniaque, m'a porté à chercher s'ils agiraient sur la lumière polarisée, et M. Payen a eu la complaisance de m'en procurer d'assez transparents pour pouvoir faire cette observation. Ceux qu'il m'a remis sont de deux sortes : les uns consistent en un tronçon de prisme droit, à base carrée, formé surtout près de ses surfaces latérales par l'apposition d'une multitude de petites plaques carrées ou rectangles, et qui se termine par une masse conoïdale cristallisée confusément; leur épaisseur transversale est de quatre à cinq millimètres. Les autres, plus petits, ont une configuration irrégulièrement ovoïde, dans laquelle on distingue à la loupe des systèmes de stries très-fines. Tous étant combinés avec la lame sensible, exercent une action très-vive sur la lumière polarisée; et le sens de cette action est, dans les premiers, en correspondance évidente avec leurs systèmes lamellaires latéraux. Car elle ne trouble pas la polarisation primitive quand les plans de ces systèmes deviennent parallèles ou perpendiculaires à sa direction; et au contraire, elle la trouble comme ferait une

plaque mince, douée de la double réfraction moléculaire, quand on tourne ces plans dans l'azimut de 45°. On ne peut pas assigner de caractères plus précis, parce que l'irrégularité de constitution intérieure de ces prismes lamellaires fait varier le sens et même l'intensité de l'action en différentes parties de leur masse. Mais elle est assez énergique pour que la plupart développent immédiatement des phénomènes de coloration très-marqués, sans le secours de la lame sensible. Tout me persuade que si l'on peut obtenir de pareils cristaux d'un plus gros volume et d'une constitution intestine plus régulière, ils produiront des effets de polarisation lamellaire plus vifs encore que les cristaux d'alun; mais ces effets n'y auront pas plus de rapport avec une double réfraction moléculaire.

LA MAGNÉSIE BORATÉE OU BORACITE.

La configuration des cristaux de ce minéral, jointe à la correspondance symétrique des modifications qu'on observe sur leurs arêtes et sur leurs angles, lui a fait assigner par Haüy, pour forme primitive, un cube dont les angles solides opposés sont inégalement modifiables; de sorte qu'il y en a quatre d'une même espèce, et quatre d'espèce différente, symétriquement disposés autour des trois axes rectangulaires, menés du centre du solide aux centres de ses faces. Le *Journal philosophique d'Édimbourg pour* 1821, tome V, page 217, mentionne un mémoire que le docteur Brewster aurait présenté à la Société royale de cette ville, pour établir que la boracite possède un axe de double réfraction attractif, dirigé suivant une des diagonales du cube primitif, ce qui

serait incompatible avec l'identité des modifications minéralogiques opérées autour des quatre diagonales. Mais il n'a pas été donné suite à cette annonce. Toutefois, la grande autorité du physicien écossais ayant dû naturellement inquiéter les cristallographes, l'un d'eux, M. Delafosse, a voulu vérifier le fait sur des plaques de boracite perpendiculaires aux diverses diagonales du cube, ou parallèles à ses faces externes. Mais il leur a seulement trouvé la faculté de dépolariser complétement la lumière transmise; et j'ai vérifié ce résultat sur ces plaques mêmes qu'il a bien voulu me confier. Car, en les soumettant aux épreuves les plus délicates, et même en les combinant avec la lame de chaux sulfatée sensible, elles n'ont opéré qu'une dépolarisation uniforme, sans aucun indice de section principale. Quoique cette uniformité d'action ne fût pas incompatible avec une constitution symétrique, je soupçonnai qu'elle résultait plutôt de l'imparfaite diaphanéité des plaques, qui ne transmettaient pas, ou à peine, des images définies des objets. Je fis donc amincir beaucoup plus une d'elles, qui était perpendiculaire à l'une des diagonales; et alors certaines portions de cette lame commencèrent à produire dans la lumière polarisée des couleurs très-vives, que je suppose devoir être celles que le docteur Brewster a pu voir. Mais par leur développement local, et non uniforme, ainsi que par leurs changements brusques et discontinus sous diverses incidences, elles m'ont semblé s'assimiler bien plutôt à des phénomènes de lames qu'aux effets réguliers d'une double réfraction moléculaire autour d'un axe normal, dont l'individualité serait incompatible avec la constitution symétrique du minéral. Il serait facile de déterminer les directions des systèmes lamellaires

actifs par ces actions mêmes, en les observant à travers des échantillons diaphanes, qui seraient régulièrement construits à l'intérieur comme au dehors. Mais malgré les recherches les plus actives, je n'ai pas pu m'en procurer qui fussent dans ces conditions. (J'ai depuis rendu ces phénomènes beaucoup plus sensibles, en les observant à travers un petit appareil prismatique de Nicol, armé d'une loupe que je décrirai en parlant de l'apophyllite. Les effets de colorations s'aperçoivent alors sur toute la surface des plaques de boracite très-amincies; et les couleurs y sont disposées par veines rayonnantes très-serrées, dont ces teintes réunies composent un blanc uniforme, quand on les reçoit simultanément dans l'œil, sans les séparer par le grossissement.)

L'AMPHIGÈNE.

Ce minéral est un silicate de potasse et d'alumine qui se trouve en cristaux dans les déjections volcaniques. Haüy l'a ainsi nommé, parce qu'il offre deux systèmes distincts de clivage conduisant à deux formes primitives symétriques également admissibles, qui sont le cube et le dodécaèdre rhomboïdal. Haüy adopte la première à cause de sa plus grande simplicité. Cette multiplicité de systèmes lamellaires rendait très-présumable que les cristaux d'amphigène agiraient sur la lumière polarisée, et leur action est en effet très-vive. Je l'ai constatée sur deux sortes d'échantillons venant de Frascati, qui m'avaient été donnés autrefois par M. Monticelli, à Naples. Les uns étaient de petits dodécaèdres extérieurement complets; les autres des agrégats formés par ramollissement dans les laves, et dont les fragments sont parfaitement limpides. Ceux-ci, lorsqu'on les brise, présentent à la loupe une constitution lamellaire excessive-

ment serrée dans les parties de leur masse qui n'a pas été complétement fondue; et aussi leurs moindres parcelles développent immédiatement, dans la lumière polarisée, des couleurs très-vives distribuées capricieusement par points et par bandes en diverses parties de leur épaisseur. Ces irrégularités correspondantes à leur structure sont faciles à comprendre d'après les lois habituelles de ce genre d'action; et le pouvoir énergique de ces petites parcelles n'a rien non plus d'extraordinaire, quand on se rappelle que des globules microscopiques de fécule développent aussi dans la lumière polarisée des couleurs très-vives en vertu des systèmes de couches distinctes dont ils sont formés. Un des petits cristaux complets que j'ai fait tailler parallèlement aux faces du cube primitif, a produit aussi des couleurs, mais non pas plus vives ni plus régulières; soit qu'il ne se trouvât pas construit continûment à l'intérieur, soit par la distribution irrégulière de ses systèmes lamellaires dominants, comme cela arrive aussi très-souvent dans les cristaux d'alun. Il serait sans doute très-curieux d'étudier ces phénomènes dans des cristaux d'amphigène plus gros et plus réguliers que ceux dont j'ai pu faire usage. Mais déjà ce qui précède me paraît suffire pour qu'on ne doive pas les rapporter à l'existence d'une double réfraction moléculaire, qui serait incompatible avec la constitution symétrique de ce minéral. (Les couleurs développées par les cristaux d'Amphigène deviennent beaucoup plus manifestes quand on les observe avec le petit appareil indiqué à la fin de l'article précédent; et l'on reconnaît ainsi bien mieux leurs rapports évidents avec l'existence des systèmes lamellaires accidentels.)

L'ANALCYME.

L'analcyme est un minéral dont les cristaux n'ont été trouvés jusqu'ici que sous trois configurations dérivées du cube par la troncature symétrique de ses angles solides; cette troncature étant simple et donnant le cubo-octaèdre, ou triple, et conduisant au trapézoèdre plus ou moins complet. Comme ils ne se laissent point subdiviser par le clivage mécanique, Haüy a dû leur assigner pour forme primitive le cube, d'après ces seules indications. Toutefois, pour l'objet qui nous occupe, il est très-essentiel de remarquer que, dans les fractures des cristaux, tant opaques que transparents, on aperçoit presque toujours des indices de pyramides distinctes les unes des autres par la direction des stries latérales dont leurs pans sont sillonnés, et qui semblent diverger du centre du solide vers ses diverses faces; à peu près comme les pyramides quadrangulaires aboutissant aux faces de troncature cubique dans les cristaux d'alun que j'ai décrits page 662 et suivantes. J'ignore si cette structure pyramidale existe invisiblement dans les cristaux d'analcyme trapézoïdale complets et limpides, où elle pourrait se déceler par les propriétés optiques qui en résulteraient. Il m'a été impossible de me procurer de pareils cristaux; et j'ai pu seulement étudier quelques petits échantillons incomplets de la variété triépointée qui étaient engagés dans les laves; de sorte que leur structure interne était nécessairement irrégulière. Ils exerçaient sur la lumière polarisée une action très-vive, mais qui était aussi trop accidentée pour qu'on pût en définir les lois. Je n'ai donc pas pu répéter les observations du doc-

teur Brewster sur la variété trapézoïdale dont il a eu le bonheur d'avoir des échantillons limpides, complets, et d'un volume infiniment rare. Je le regrette, non par un sentiment de doute sur leur exactitude, mais parce que l'étude la plus attentive de son Mémoire ne m'a pas donné une idée assez nette de ses procédés d'expérimentation et de ses résultats, pour apprécier les rapports de ceux-ci avec la structure de la variété qu'il a observée, structure qui pourrait bien n'être pas la même dans des variétés différentes. Je me bornerai donc à m'appuyer sur sa conclusion la plus générale, qui est que l'action de ces cristaux sur la lumière polarisée n'est point moléculaire, mais provient du groupement de certaines portions de leur masse ayant des dimensions sensibles; résultat tout à fait compatible avec la constitution symétrique du système cristallin régulier auquel l'analcyme appartient.

RÉSUMÉ.

Les expériences que je viens de rapporter, étant considérées dans leur ensemble, conduisent à une conséquence assez inattendue. D'après ce qu'elles nous montrent, la propriété d'agir sur la lumière polarisée, que l'on avait reconnue dans certains cristaux appartenant au système régulier, ne leur serait pas propre et exceptionnelle. Tous en seraient susceptibles, non moléculairement, mais comme agrégations de masses d'un volume fini, distribuées en systèmes distincts, avec un ordre régulier d'apposition. D'après cela, quand la symétrie des formes externes d'un cristal indiquera une forme génératrice pareillement symétrique, on ne devra pas exiger

comme une condition nécessaire que le cristal total n'agisse point sur la lumière polarisée; mais seulement que son action, si elle se manifeste, ne soit point moléculaire, ce que l'on pourra toujours constater en observant les lois physiques qu'elle suit. Inversement, lorsqu'on verra qu'un cristal modifie la lumière polarisée, on ne devra pas inférer de cette seule apparence que sa forme génératrice est dissymétrique; mais il faudra étudier les lois de l'action pour savoir si elle appartient à la masse totale ou aux molécules constituantes considérées dans leur individualité.

§ V.

Analyse expérimentale des phénomènes de polarisation lamellaire, produits par les corps appartenant aux ordres de systèmes cristallins non réguliers.

Dans cette dernière partie de mon travail, je considère d'abord les corps cristallisés dont la forme primitive réunit les conditions suivantes : 1° de contenir une ligne droite ou axe unique qui n'ait point d'analogue; 2° que, par un certain point de cet axe unique, et dans un plan qui lui soit normal, on puisse mener deux autres axes rectangulaires entre eux, ou trois autres axes mutuellement inclinés sous des angles de 60°, autour de chacun desquels la forme primitive ait une disposition similaire. Cette définition s'applique à tous les cristaux que les minéralogistes allemands classent dans leur deuxième et leur troisième système cristallin.

Si l'on conçoit maintenant un cristal construit avec des polyèdres générateurs ainsi définis, apposés les uns aux au-

tres conformément aux lois de symétrie que leur forme exige, je dis qu'il ne pourra pas exercer la double réfraction moléculaire à deux axes. Car la direction de ces axes étant supposée donnée, on pourra toujours mener, en chaque point du cristal, un ou plusieurs autres couples de droites, relativement auxquels il sera constitué d'une manière exactement pareille. De sorte que la subdivision qu'il opère dans les rayons lumineux, et le sens de la polarisation qu'il leur imprime, devraient avoir aussi, avec les différents couples, des relations pareilles et simultanées; ce qui est impossible, puisque ces relations sont absolues pour chaque couple d'axes. Par une raison pareille, si le cristal exerce la double réfraction moléculaire à un seul axe, cet axe ne pourra être que la droite de la forme primitive qui n'a point d'analogue. Car toute droite différente de celle-là étant prise pour axe de double réfraction, il y en aurait toujours une, ou plusieurs autres, autour desquelles le cristal serait constitué de la même manière et devrait agir similairement. De sorte que les conditions de subdivision et de polarisation qui sont absolues pour tout axe unique, et complétement déterminées par sa direction, devraient se trouver satisfaites simultanément pour différentes droites, ce qui implique une impossibilité manifeste. Si donc, certains corps cristallisés compris dans la définition précédente, produisent des phénomènes de polarisation qui ont paru analogues à ceux des cristaux à deux axes, ce doit être parce que l'action moléculaire dépendante de leur axe unique s'est trouvée subsidiairement combinée avec des effets d'agrégation de masse qu'il en faut séparer par l'analyse physique. C'est ce que je vais tâcher de faire ici pour l'apophyllite, où cette associa-

tion est telle, qu'on a pu croire que ses cristaux avaient quelquefois deux axes de double réfraction, quelquefois un seul axe, contrairement à toutes les indications minéralogiques tirées de la symétrie de leur forme; et avec des particularités si singulières, qu'aucun corps jusqu'ici connu ne s'est montré plus désespérant pour les cristallographes, ni plus riche en effets optiques pour les physiciens.

L'apophyllite, littéralement, minéral formé de feuillets, se rencontre en tables carrées à faces parallèles, et en prismes droits à base carrée, modifiés à leurs sommets ainsi que sur leurs arêtes, par des troncatures généralement symétriques autour de leur axe. Tous ces cristaux se clivent et même se délitent perpendiculairement à l'axe, en sections transversales d'un aspect nacré, que les faces latérales ne présentent jamais, étant d'ailleurs semblables entre elles dans chaque cristal. L'ensemble de ces caractères indique pour forme primitive de l'apophyllite un prisme droit à base carrée, dont Haüy fait la hauteur égale à $\frac{5}{4}$ du côté de la base, pour que les faces secondaires, dont l'existence est la plus fréquente, s'obtiennent par des conditions simples de décroissement. Mais on va bientôt voir que ces faces, ainsi que le corps même des cristaux d'apophyllite, s'engendrent par un mode d'apposition bien plus merveilleux que ne le suppose cette fiction, appropriée seulement à reproduire leurs formes externes.

J'ai pu aisément me procurer, dans le commerce, des échantillons sur lesquels les pointes terminales et pyramidées des prismes surgissent en abondance d'une gangue commune, avec une parfaite limpidité. J'ai trouvé aussi quelques échantillons limpides de la variété tabulaire, offrant des

facettes latérales très-nettes, à travers lesquelles on pouvait les observer optiquement aussi bien qu'à travers leurs bases. Mais j'ai surtout été favorisé, sous ce dernier rapport, par la généreuse obligeance de mon ami sir J. Herschel, qui m'a envoyé d'Angleterre les cristaux mêmes où il a découvert autrefois des propriétés si remarquables et si exceptionnelles, sur la composition des anneaux colorés formés autour de l'axe des prismes d'apophyllite par la lumière polarisée. Quant aux cristaux prismatiques complets et transparents, ou offrant au moins une portion de prisme transparente jointe à la pyramide terminale, on m'avait assuré qu'ils étaient d'une rareté désespérante. Mais heureusement je me suis aperçu qu'ils sont au contraire fort nombreux dans nos collections minéralogiques, quoiqu'on n'y soupçonne pas leur perfection. C'est que, pour découvrir ces précieux cristaux, il ne suffit pas de les regarder superficiellement, tels que le hasard les jette sur leur gangue. Il faut d'abord les isoler, puis les étudier avec la loupe ou le microscope, comme l'a fait le docteur Brewster, tant pour examiner leur configuration, que pour connaître l'ensemble des actions exercées par leur masse totale sur la lumière polarisée, quand elle y est transmise perpendiculairement à l'axe des prismes. Il faut ensuite joindre à ces données l'observation des phénomènes analogues qui s'opèrent suivant l'axe, soit dans la variété tabulaire, comme l'a fait sir J. Herschel, soit dans les diverses sections extraites d'un même prisme, comme le docteur Brewster. J'ajoute enfin que, pour lier ces résultats entre eux et avec la double réfraction que l'apophyllite exerce, il faut y appliquer les notions que les cristaux d'alun nous ont fournies, tant sur les modes variés de génération des masses

cristallines, que sur le pouvoir polarisant spécial qui s'y développe occasionnellement, et indépendamment de la double réfraction moléculaire, lorsque quelques-unes de leurs parties s'agrégent en systèmes distincts de lames planes superposées continûment les unes aux autres en diverses directions. Sans cette analyse intime et complète, le minéralogiste, qui s'arrête aux formes, ne connaît pas plus un cristal d'apophyllite qu'on ne connaît une lettre par son enveloppe, un livre par sa couverture, un écrin par l'étui où il est renfermé.

Les diverses variétés d'apophyllite que le docteur Brewster a pu se procurer, lui ont présenté des duplications d'images très-faibles mais sensibles; d'où il a conclu que ce minéral exerce une double réfraction attractive sur les rayons de toutes les réfrangibilités; caractère qu'il a vraisemblablement inféré du sens dans lequel les deux images se trouvaient polarisées relativement à l'axe du cristal. J'avais fait aussi, vers le même temps, mais non publié, des observations analogues, d'où j'avais tiré une conséquence pareille. On les effectue très-aisément avec la variété pyramidée des îles Feroé, dont les échantillons offrent en abondance des pointes d'une limpidité parfaite, ayant une ouverture d'angle réfringent qui s'élève parfois jusqu'à 60°. Après avoir détaché un de ces cristaux, on lui oppose un prisme de crown d'un angle à peu près égal, qui compense suffisamment son pouvoir dispersif; et, à cet effet, on le fixe à la surface du crown avec une couche très-mince de térébenthine épaissie, ou d'eau gommée, qui, étant séchée, suffit pour l'y maintenir adhérent. Alors on voit très-distinctement, à travers ce système, la duplication des images des objets déliés, tels qu'une aiguille fine projetée sur

le ciel, ou les lignes noires d'une division tracée sur une lame d'ivoire; et l'on peut constater que l'image la moins déviée est polarisée parallèlement à l'axe du cristal, tandis que la plus déviée l'est rectangulairement. J'ai encore obtenu les mêmes résultats avec un prisme naturellement rectangle de la variété tabulaire, que je compensais par un prisme de crown de même angle, les rayons lumineux entrant par la face parallèle à l'axe du cristal, et sortant par la face basique. Le sens d'écartement des images réfractées et leur sens de polarisation se trouvent ainsi, dans ces deux cas, tels que doit les produire un cristal doué de la double réfraction moléculaire à un seul axe, qui serait ici l'axe de la forme primitive indiquée par la cristallographie. Mais cela ne prouve pas indubitablement que le même accord doive se soutenir dans toutes les autres directions des rayons réfractés, ni que leur écartement s'y effectue conformément à la loi habituelle découverte par Huyghens. Il importerait de décider ces points par des épreuves directes accompagnées de mesures très-précises. Car la double réfraction apparente de l'apophyllite étant d'une extrême faiblesse, et se trouvant coexister avec des phénomènes de polarisation non moléculaires d'une très-grande vivacité, comme je vais le prouver dans un moment, il se pourrait que les causes distinctes de ces deux ordres d'effets eussent des intensités comparables entre elles. Et alors les duplications d'images qu'on observe, étant produites par leur résultante, pourraient très-bien suivre d'autres lois que si elles étaient dues à l'action moléculaire seule, ou infiniment prédominante. J'indiquerai plus loin un moyen très-simple de constater cette circonstance, si l'on peut se procurer un prisme rectangle d'apophyllite qui ait seulement

deux ou trois millimètres d'épaisseur, et qui soit transparent dans le sens transversal.

Un des caractères spéciaux de l'apophyllite, c'est d'être séparable perpendiculairement à l'axe des prismes, en tronçons et même en feuillets d'un aspect nacré, sur lesquels on aperçoit presque toujours des anneaux, ou plutôt des courbes colorées, produites par la réflexion de la lumière entre leurs lames constituantes. Je reviendrai plus loin sur certaines particularités de ce clivage transversal, qui se montre inégalement facile en divers points de la longueur des prismes. Je me borne ici à constater son existence et à remarquer qu'il subsiste souvent, mais non pas toujours, jusque sur des portions plus ou moins étendues des pyramides terminales, avec les mêmes caractères d'aspect et de facilité. Mais en examinant ces pyramides à la loupe, surtout dans la variété qui les présente spécialement développées et groupées à côté les unes des autres en pointes brillantes, surgissant de masses prismatiques irrégulièrement accolées en différents sens, on voit qu'elles sont aussi très-fréquemment composées de couches triangulaires parallèles à leurs faces externes, comme les pyramides de l'alun. Et en suivant les stries qui sillonnent leurs anfractuosités accidentelles, ou celles des portions de prismes d'où elles sortent, on y remarque tous les accidents de génération de ces mêmes pyramides que j'ai décrites dans les figures 19 et suivantes, si ce n'est qu'ils y sont peut-être plus variés encore, et que le tissu lamellaire en paraît bien plus serré, comme plus continu. Ces particularités, déjà visibles dans la lumière naturelle, deviennent bien plus évidentes dans la lumière polarisée, sur laquelle tous ces systèmes lamellaires divers agissent à leur manière,

comme on devait s'y attendre; car elles se trouvent alors manifestées, et comme dessinées, par des bandes teintes de couleurs très-vives qui suivent les directions de ces systèmes dans tous les caprices de leurs contours. Mais pour apercevoir ainsi ces phénomènes avec leur entière beauté, dans des masses aussi petites que le sont toujours les cristaux d'apophyllite, il faut remplacer notre appareil général de la fig. 2 par un autre analogue, où le pouvoir de la vision naturelle soit accru de manière à les étudier de plus près; et cela devient également nécessaire pour tous les cristaux de toute autre espèce que l'on ne peut obtenir qu'avec de très-petites dimensions. A cet effet je substitue au grand prisme de Nicol un autre prisme pareil qui n'a que 25 millimètres de longueur, et je fixe une loupe de cette même longueur focale au bout qui doit être dirigé vers l'objet. Alors, tenant ce petit appareil d'une main, on l'applique contre l'œil par le bout nu, et de l'autre main on approche de la loupe le petit cristal fixé à l'extrémité d'une tige rectiligne, jusqu'à ce qu'on le voie distinctement. Il ne reste donc qu'à faire cette opération dans un faisceau de lumière blanche polarisée. Pour cela, on dirige le prisme analyseur sur la direction d'un pareil faisceau, réfléchi par une glace horizontale, en le tournant autour de son axe jusqu'à ce que cette glace paraisse noire, ce qui arrive quand la section principale du prisme coïncide avec le plan de réflexion; puis on interpose dans le trajet des rayons le petit cristal, soit d'apophyllite, soit de toute autre espèce que l'on veut étudier, et on le tourne dans le sens que l'observation même indique comme la plus efficace à manifester son action sur eux par la restitution de la lumière dans le prisme analyseur. Ceci montre donc ses effets immé-

diats. Maintenant, si l'on veut l'étudier aussi en combinaison avec une lame de chaux sulfatée sensible, on interpose cette lame soit après, soit avant le petit cristal, en dirigeant sa section principale à 45° du plan de polarisation primitif; et pour cela il est plus commode de la placer en avant de lui, parce qu'on peut la tenir fixée sur un support indépendant, ce qui laisse toute liberté pour tourner le cristal dans les sens convenables et pour l'amener au foyer de la loupe sans endommager la lame sensible qui est très-fragile. Non-seulement ce petit appareil fait voir les propriétés optiques de l'apophyllite dans leur plus grande beauté, mais il peut encore servir avec infiniment d'avantage pour étudier les actions non moléculaires exercées sur la lumière polarisée par les corps du système cristallin régulier que j'ai considérés dans les sections précédentes, lorsqu'on ne peut les obtenir qu'avec des dimensions très-petites, comme cela a lieu généralement pour les minéraux les plus actifs de cette classe.

D'après les observations que je viens de rapporter, l'idée la plus générale que l'on puisse se former des cristaux d'apophyllite, c'est d'y concevoir un axe de double réfraction moléculaire attractif coïncidant avec l'axe du prisme primitif; plus, deux ordres de systèmes lamellaires, l'un perpendiculaire à cet axe, et existant toujours avec des degrés inégaux d'intensité; les autres occasionnels et composés de lames qui peuvent être dirigées obliquement à cet axe sous toutes sortes d'inclinaisons, jusqu'à lui devenir quelquefois parallèles. Je ferai remarquer immédiatement que le caractère attractif de l'axe est ici une circonstance très-importante. Car, étant normal au système lamellaire transversal qui existe toujours et qui agit aussi dans la direction de ses propres lames avec

le caractère attractif, il en résulte que, dans toutes les positions possibles des cristaux d'apophyllite, ces deux genres d'action s'exercent toujours sur la lumière polarisée simultanément et *en opposition ;* comme feraient des lames douées de réfractions moléculaires de même nature dont les sections principales seraient croisées rectangulairement. Si le pouvoir moléculaire de double réfraction et de polarisation exercé par l'apophyllite était très-énergique, cette opposition pourrait ne pas produire de résultats sensibles, ou n'en produire que dans les directions de transmission très-voisines de l'axe; comme on voit les phénomènes dus au pouvoir rotatoire du quartz s'affaiblir rapidement à mesure que son axe s'incline sur les rayons transmis, et bientôt disparaître complétement sous cette influence prédominante. Mais l'excessive faiblesse du pouvoir moléculaire de double réfraction dans l'apophyllite laisse toujours sensible l'action du système lamellaire transversal qui lui est opposée. Ainsi les modifications que l'on observe dans la lumière polarisée transmise, sont dues à la différence de ces causes contraires, ayant des intensités comparables et s'exerçant sans doute avec des lois dissemblables sur les rayons lumineux de diverse réfrangibilité. On a donc ici, pour la polarisation, un cas analogue à celui que présentent, dans la réfraction ordinaire, deux prismes de même angle, mais inégalement dispersifs, que l'on opposerait l'un à l'autre angulairement. Et, comme la dispersion résultante d'un pareil assemblage diffère totalement des lois habituelles que suit ce phénomène dans un seul prisme d'une substance quelconque, de même l'opposition des forces polarisantes de l'apophyllite doit, selon toute vraisemblance, associer les rayons lumineux inégale-

ment réfrangibles, sur les directions de polarisation, tout autrement que ne font les corps cristallisés dans lesquels le pouvoir de double réfraction moléculaire est seul actif ou prédominant. Or, c'est en effet ce que l'expérience montre, comme sir J. Herschel l'a premier découvert et constaté.

Nous examinerons plus loin les singulières apparences qui résultent de cette combinaison. Mais nous allons d'abord éviter la complication qu'elle entraîne en transmettant la lumière polarisée dans les cristaux d'apophyllite suivant la direction de l'axe du prisme primitif. Car alors l'action dépendante de cet axe sera nulle, et aussi celle du système lamellaire transversal, puisqu'il se trouvera perpendiculaire aux rayons transmis; de sorte que les actions des autres systèmes obliques ou parallèles à l'axe, pourront seules les modifier, ce qui nous offrira l'avantage d'étudier séparément leur action. Je commencerai donc par ce genre d'épreuve, en choisissant, pour l'appliquer, les pointes pyramidales limpides, où l'existence de systèmes lamellaires parallèles aux faces externes se manifeste avec le plus d'évidence, soit par l'intuition même de ces lames accidentellement visibles, soit par la multitude des stries parallèles aux faces, dont les bases des pyramides sont sillonnées. Pour pouvoir transmettre la lumière dans le sens de leur axe, j'emploie le même artifice dont j'avais fait usage pour les petits octaèdres d'alun; c'est-à-dire, que je les enferme dans de petits vases annulaires de verre bouchés à leurs deux bouts par des glaces parallèles, et je les y entoure d'un liquide transparent d'une réfringence à peu près égale. Mais ici ce liquide ne peut plus être de l'eau, ni même une dissolution saline, parce que le pouvoir réfringent du milieu ainsi constitué se trouverait trop faible.

J'y substitue donc l'essence de térébenthine épaissie, dont l'action rotatoire, déjà affaiblie par l'oxydation, est insensible à de si petites épaisseurs; ou encore l'huile d'olive blanchie par la radiation solaire. L'essence épaissie a le double avantage de maintenir les pyramides fixes dans la direction qu'on veut leur donner relativement aux rayons transmis; et son pouvoir réfringent est en outre si approximativement égal au leur, qu'à peine si l'on peut les distinguer dans la lumière naturelle de la masse qui les environne. Elle a seulement l'inconvénient d'être presque toujours colorée d'une légère teinte jaune qui altère tant soit peu la blancheur de la lumière transmise, mais si faiblement que les apparences observables en sont à peine modifiées. La parfaite diaphanéité de l'huile blanchie conserve à ces apparences toute leur pureté naturelle. Mais, ne maintenant pas les pyramides absolument fixes, elle exige quelque attention pour amener les plans de réfraction de leurs faces dans les sens les plus favorables à l'exhibition de leur pouvoir polarisant. Au reste, cette mobilité offre ainsi l'avantage de varier successivement les effets produits; et l'emploi alternatif de ces préparations dans des vases différents, permet d'étudier les phénomènes sous tous les aspects possibles.

Si l'on examine, à l'aide de ces appareils, l'état de la lumière polarisée qui a traversé les pyramides parallèlement à leur axe, en la recevant d'abord immédiatement dans le petit prisme de Nicol armé de sa loupe, et amené à la distance où les cristaux interposés se voient le plus distinctement, on aperçoit seulement sur leurs quatre faces une faible lueur blanchâtre, telle que la présentaient les petits octaèdres d'alun, observés de la même manière avec le grand appareil

de la figure 2. Mais en interposant la lame de chaux sulfatée sensible, soit après, soit avant les petits vases, comme nous l'avions fait alors, et en tenant de même sa section principale dirigée à 45° du plan de polarisation primitif, on voit les quatre faces de toutes les pyramides, se colorer par couples de teintes opposées, généralement verte et rouge, comme faisaient ces octaèdres, et en suivant aussi des phases d'intensité pareilles quand on amène leur plan de réfraction actuel, dans diverses positions angulaires autour du plan de polarisation primitif. La projection de chaque pyramide reproduit ainsi exactement les apparences de la figure 3. Seulement, quelques-unes opèrent parfois dans la teinte de la lame sensible, des variations un peu plus étendues, par addition et par différence; la faisant par exemple descendre jusqu'au vert bleuâtre et remonter jusqu'au jaune en certaines parties de leur masse, et principalement près de leur sommet; ce que l'on observe aussi accidentellement avec les pyramides d'alun entourées de leur propre solution. Et, de même aussi, ces inégales intensités d'action ne se présentent pas en rapport constant avec les inégales grosseurs de pyramides; de sorte qu'elles dépendent aussi de l'état plus ou moins intime ou continu de leurs systèmes lamellaires latéraux. En un mot, les phénomènes sont tellement semblables à ceux des pyramides octaédriques d'alun observés aussi suivant leur axe, qu'il serait superflu de les vouloir décrire en détail, puisqu'on ne pourrait que leur appliquer littéralement les mêmes expressions.

Afin d'étendre tout de suite l'application des préparations précédentes, j'avais jeté sur le fond des petits vases, parmi les pyramides droites, quelques autres que j'avais couchées

sur une de leurs faces, de manière que le faisceau polarisé introduit par cette face se voyait sortant par son opposée, ou même par la base, devenue ainsi oblique à l'axe de vision. J'avais en outre, pour le même but, introduit quelques troncs de pyramides dont j'avais enlevé les sommets, et que j'avais posés sur leurs bases, de manière qu'ils fussent traversés suivant leur axe, comme les pyramides entières. Ces dispositions diverses ont produit les phénomènes les plus variés et les plus curieux. Par exemple, dans les pyramides couchées, l'axe de double réfraction, et le système lamellaire perpendiculaire à cet axe, devenant actifs, conjointement avec les systèmes lamellaires latéraux des deux faces pyramidales qui se trouvaient dirigées dans le plan de vision, la perception de leurs effets réunis n'a plus eu besoin d'être aidée par la lame sensible. Toutes les faces obliques aux rayons transmis étant observées immédiatement avec le prisme analyseur armé de sa loupe, se sont montrées, dans toute leur étendue, couvertes de bandes colorées, principalement violettes et jaune verdâtre, mais aussi teintes par occasion d'autres couleurs, lesquelles, dans les parties prismatiques de la projection, paraissaient généralement alignées dans des plans perpendiculaires à l'axe des prismes. Mais, sur les bases planes ou fractures des pyramides, ces bandes étaient tantôt parallèles entre elles, tantôt sinueuses, et pliées suivant tous les accidents, non-seulement de leurs contours, mais encore de leur constitution intérieure ou de leurs anfractuosités. Les pyramides droites, quand je les ai regardées aussi obliquement, se sont de même coupées de bandes colorées violettes et vert jaunâtre, s'étendant sur leurs quatre faces suivant des sections perpendiculaires à leur axe.

Ces bandes, primitivement nulles quand la vision s'opérait suivant l'axe même, se montraient d'abord très-larges quand les rayons transmis commençaient à lui être obliques; et se serraient en devenant plus fines et plus nombreuses, sans changer notablement de teinte, à mesure que les rayons formaient avec l'axe un angle plus grand. J'ai renoncé à l'espoir de pouvoir représenter par des figures les variétés infinies de ces apparences, qui se compliquent encore lorsque deux ou plusieurs des cristaux observés viennent accidentellement à se recouvrir dans le liquide qui les entoure, de manière que la lumière arrive à l'œil après les avoir traversés en succession. L'observation seule peut en donner une juste idée. Je me borne donc à ajouter qu'en général, dans tous ces phénomènes, la quantité de lumière enlevée à la polarisation primitive varie avec la position des plans de réfraction actuels où ils se produisent; de sorte qu'ils atteignent leur maximum d'intensité comme ceux des pyramides droites observées suivant l'axe, lorsque ces plans forment un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif, suivant lequel la section principale du prisme analyseur doit rester toujours dirigée, comme je l'ai dit plus haut.

Les bandes colorées que la lumière polarisée forme dans les pyramides d'apophyllite quand on les observe transversalement, peuvent se voir aussi dans l'air au moyen de notre grand appareil de la figure 2, en prenant soin de compenser la réfraction angulaire des faces pyramidales par l'opposition d'un prisme de crown ayant un angle réfringent à peu près égal au leur. C'est probablement par un procédé analogue que le docteur Brewster les a observées. Car on les voit décrites dans les figures 11 et 12 de son mémoire, inséré aux

Transactions philosophiques d'Édimbourg de 1821; et il fait remarquer, page 322, les capricieuses variétés de configuration ainsi que de largeur qu'elles présentent dans des échantillons divers. Mais, quand on les regarde ainsi à la vue simple, leur finesse est généralement un obstacle qui empêche de discerner leur composition. Au lieu qu'en se servant du petit prisme de Nicol armé de sa loupe, on parvient à les distinguer parfaitement dans toutes les pyramides, en recevant le rayon réfracté suivant sa direction d'émergence, même sans avoir besoin de compenser leur réfraction. Seulement, il faut avoir soin d'exclure toute lumière étrangère au faisceau polarisé qui pourrait s'y introduire; et pour cela il convient que les cristaux, l'appareil analyseur et l'œil de l'observateur même, soient abrités latéralement contre cette introduction. Alors ayant amené au foyer de la loupe le cristal que l'on veut étudier, on le présente successivement au rayon polarisé dans toutes les directions, en tournant seulement dans les doigts la tige qui le porte, et variant de l'autre main la position du petit appareil analyseur pour voir le mieux possible les couleurs développées. On distingue ainsi parfaitement toutes les bandes qui se forment, non-seulement sur les faces prismatiques des pyramides, mais sur toutes les anfractuosités accidentelles de leurs bases ou de leurs prolongements plus ou moins cylindriques; et l'on peut suivre leurs sinuosités sur tous les contours des lames qui les constituent. La variété des phénomènes qu'on découvre ainsi ne saurait se décrire.

En répétant ces observations avec des pyramides d'angles réfringents divers, on trouve généralement que les bandes parallèles, formées transversalement sur leurs faces, sont d'autant plus larges que cet angle est moindre. D'après cette

remarque, j'ai choisi deux pyramides où il était sensiblement égal et d'environ 60°; puis je les fixai l'une à l'autre par deux de leurs faces, au moyen d'une mince couche d'essence de térébenthine, en opposant leurs sommets à leurs bases, comme on le voit figure 38. J'obtins ainsi une plaque dont les faces extrêmes AS, A′S′ étaient sensiblement parallèles, et dans laquelle les axes de double réfraction moléculaire SL, S′L′ étaient également inclinés sur ces faces, conséquemment parallèles entre eux. En transmettant le rayon polarisé à travers ce système, la surface de projection commune aux deux pyramides se couvrit, non plus de bandes, mais de plaques étendues, colorées de vert et de rose; au lieu que, dans les prismes pyramidaux simples, les plus aplatis, lorsqu'on les observait dans l'huile blanchie, les bandes paraissaient seulement violettes et jaune verdâtre, ou blanches par alternatives. Je ne prétends pas expliquer ces phénomènes; et je ne saurais non plus comment concilier la distribution de la lumière polarisée par bandes nombreuses, parallèles entre elles dans les prismes pyramidaux, avec la subdivision de la lumière naturelle des petits objets, seulement en deux images incolores polarisées rectangulairement. Je me borne à faire remarquer, premièrement: que, dans la plaque mixte, composée de deux pyramides accolées base à pointe, le système lamellaire transversal agit en opposition avec le pouvoir polarisant moléculaire, émané de l'axe qui est attractif; et deuxièmement, que l'inclinaison de cet axe sur les surfaces externes de la plaque établit entre ces deux principes d'action une relation différente de celle où ils se trouveraient dans une plaque de même épaisseur taillée perpendiculairement à l'axe d'un prisme d'apophyllite naturel.

J'ai dit plus haut avoir placé, dans un de mes anneaux de verre, des troncs de pyramides posés sur leurs bases et entourés d'huile incolore. En les faisant traverser sous l'incidence normale par le rayon polarisé qui se trouvait ainsi dirigé suivant leur axe, et recevant ce rayon sans intermédiaire dans le petit prisme analyseur armé de sa loupe, quelques-uns d'entre eux ne manifestaient aucune action. Mais, dans d'autres, la surface de projection se partageait en triangles et en carrés d'un blanc bleuâtre, irrégulièrement groupés entre eux; comme si la masse de ceux-là eût été un assemblage de pyramides et de portions de prismes droits agglomérés par la cristallisation. En ajoutant à cette observation l'aide de la lame sensible, placée avant ou après l'anneau, avec sa section principale dirigée dans l'azimut de 45°, et maintenant d'ailleurs tout le système sous l'incidence normale, les troncs qui avaient paru inactifs n'altéraient que peu ou point sa teinte propre. Mais les parties actives des autres paraissaient comme autant de segments triangulaires ou quadrangulaires colorés en vert ou en rouge, selon que le plan de réfraction actuel de leurs lames constituantes les faisait agir sur la lame sensible en concordance ou en opposition. La diversité de leurs apparences reproduisait donc ainsi toutes les bizarreries que les plaques pyramidales d'alun avaient présentées dans des circonstances analogues, selon la disposition relative de leurs systèmes lamellaires latéraux ou intérieurs. Conséquemment, pour reproduire une image régulière comme celle de la figure 4, il ne fallait que trouver un tronc pyramidal d'apophyllite dont les pans fussent construits avec autant de régularité. Dans le grand nombre de ceux que j'ai essayés, j'en ai rencontré un pareil que M. Dufrénoy avait extrait par le

clivage d'une pyramide quadrangulaire, limpide, bien régulière extérieurement, et tant soit peu cunéiforme. J'ai fixé ce tronc par sa base sur une lame mince de verre à faces parallèles. Puis, pour le faire traverser exactement suivant son axe par le faisceau polarisé dans l'appareil de la figure 2, je n'ai eu qu'à appliquer cette lame sur le bout du plan supérieur du tuyau AA qui contenait le rayon réfléchi, ce bout ayant été coupé normalement à la longueur du tuyau. Alors, en tournant la lame sur son support, le cristal tournait simultanément avec elle autour de son axe, qui restait toujours en coïncidence avec la direction des rayons incidents; et l'on pouvait ainsi amener les plans réfringents de ses faces à former tous les angles possibles avec le plan de polarisation primitif. Les apparences opérées pendant cette rotation, ont été exactement les mêmes que les aurait produites un tronc pyramidal d'alun, dont la configuration extérieure eût été pareille. Ainsi, quand les plans réfringents des faces latérales ont coïncidé avec le plan de polarisation primitif, ou lui ont été perpendiculaires, le rayon polarisé transmis ne prouvait aucune modification, même en l'étudiant avec le secours de la lame sensible. Dans toute autre position, au contraire, il était modifié; et la portion de lumière enlevée à la polarisation primitive augmentait progressivement avec l'écart jusqu'à un maximum qu'elle atteignait quand ces plans réfringents formaient un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif. Dans cette position, représentée fig. 39, la projection du cristal observée directement se voyait partagée par des lignes noires en quatre segments d'une blancheur bleuâtre A B D E, identiques avec les projections de ses faces externes; en sorte que deux d'entre eux, A,B, avaient la forme

de trapèzes égaux; et les deux autres, D,E, celle de triangles aussi égaux. Mais on ne voyait qu'une très-petite portion de E, parce que la présence d'un cristal voisin avait arrêté le développement complet de cette partie du tronc de notre pyramide; et il s'était établi entre les deux cristaux une surface de jonction par des plans parallèles à leur axe commun, au moyen d'un système lamellaire de soudure ainsi dirigé. Telles étaient les apparences vues directement. Mais lorsqu'on interposait la lame de chaux sulfatée sensible, elles prenaient l'aspect de la fig. 40, analogue à la fig. 4 des troncs pyramidaux d'alun, et résultante des mêmes principes. Ainsi, dans la position figurée du cristal, les deux trapèzes A,B, devenaient rouges, parce que, dans cette position, leurs systèmes lamellaires constituants agissaient par opposition avec la lame sensible; et le triangle D, ainsi que la petite portion existante de E, devenaient verts, parce que leurs systèmes constituants agissaient en concordance avec cette même lame. On trouve, dans le mémoire du docteur Brewster, un grand nombre de cas analogues à celui-là, dans lesquels aussi la transmission était opérée suivant l'axe des pyramides ou des portions de prismes observées. La multitude des cristaux d'apophyllite provenant de toutes sortes de localités, qu'il a eus à sa disposition, et parmi lesquels il y en avait de très-rares par leur volume, lui a permis de mettre en évidence tous les effets optiques produits par les accidents de leur constitution intestine, que la structure capricieuse des petits cristaux peut seulement faire prévoir lorsqu'on l'étudie attentivement. Mais, en nous bornant aux phénomènes de transmission opérés suivant l'axe des cristaux, les seuls que j'aie jusqu'ici considérés, les résultats rapportés par le doc-

teur Brewster ne me paraissent différer de ceux que je viens de décrire, que par la diverse configuration des lignes qui séparaient les projections des systèmes lamellaires agissant en différents sens ; et en appliquant les lois d'actions propres à ces systèmes, selon la direction de leur plan de réfraction actuel, on aura, je crois, l'interprétation véritable de ces résultats, lesquels n'ont ainsi aucun caractère moléculaire.

Revenons maintenant au cas de la fig. 39, où l'expérience est faite sans l'intermédiaire de la lame sensible ; puis, ayant mené, par l'axe du cristal, un plan S T qui forme un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif, inclinons peu à peu la plaque suivant ce plan S T, en la faisant tourner autour de E D comme charnière; et, pour achever de définir le sens du mouvement, supposons que le segment A s'éloigne ainsi de l'œil, tandis que le segment B s'en rapproche. Cela ne changera pas le *sens* de l'action polarisante de ces deux segments, qui restera toujours le même que celui d'une lame à double réfraction attractive ayant sa section principale perpendiculaire à S T. Seulement l'intensité de cette action croîtra d'abord pour A, parce que ses lames constituantes deviendront plus obliques aux rayons transmis, et décroîtra pour B par la cause contraire. Mais l'obliquité donnée à la plaque totale aura encore un autre effet, qui sera de développer son pouvoir de polarisation moléculaire, lequel s'exercera dans le plan ST où l'axe s'incline. Comme ce pouvoir est de nature attractive, il agira en opposition à celui des segments A,B, avec une intensité d'abord très-faible, puis progressivement croissante à mesure que l'axe s'inclinera davantage. Enfin ce même mouvement développera aussi l'action du système lamellaire normal à l'axe, laquelle s'ajoutera

à celle des segments A et B; de sorte qu'il y aura opposition entre leurs sommes et le pouvoir dépendant de l'axe. Supposons que celui-ci, dans son accroissement, parvienne à égaler ces influences réunies; et, pour plus de simplicité, admettons, comme c'est ici le cas, que ces diverses forces, dans leur état naissant, impriment aux rayons de diverse réfrangibilité des intermittences de polarisation à peu près semblables. Alors on devra voir d'abord l'éclat des segments A et B s'affaiblir dès que l'on commencera d'incliner l'axe; puis, l'inclinaison croissant toujours, il viendra un moment où la lumière transmise par ces segments sera tout à fait éteinte; et elle le sera pour B plutôt que pour A, si toutefois ils ont une constitution identique, et si la différence que l'inclinaison y produit est saisissable. Sous des inclinaisons plus grandes, ces segments reparaîtront de nouveau illuminés en vertu de la prédominance d'intensité acquise par le pouvoir moléculaire émané de l'axe; et si cette intensité ainsi accrue peut devenir comme infinie comparativement à la faible action que les segments A et B exerceraient quand ce terme d'inclinaison sera atteint ou dépassé, on pourra tourner le tronc de pyramide sur la base, sans que les teintes des deux segments A B paraissent sensiblement modifiées. Cette constance s'étendra même alors aux triangles D, E, dont l'action propre agit en concordance avec celle que développe l'inclinaison de l'axe. Car, dans l'extrême prédominance attribuée à cette dernière, l'effet propre des systèmes lamellaires qui constituent ces triangles deviendra aussi comparativement insensible. De sorte que toute la projection du cristal paraîtra d'une couleur uniforme sous chaque inclinaison, dans quelque sens

que l'on tourne les pans de la pyramide autour de son axe. Des phénomènes analogues se reproduiront si le plan d'inclinaison, au lieu d'être mené suivant S T, l'était rectangulairement à cette direction, en formant toujours ainsi un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif. Seulement, les segments qui agissent par opposition ou par concordance seraient respectivement intervertis.

Ce sont là, en effet, exactement les apparences qu'on observe; je l'ai constaté avec la plaque pyramidale même à laquelle se rapportent les fig. 39 et 40. On trouve, dans le mémoire du docteur Brewster, plusieurs expériences qui se rapportent à ce cas, et aussi lui ont-elles présenté des résultats conformes au principe de combinaison des deux pouvoirs que je viens de développer. La manière dont les teintes extraordinaires s'y dégradent d'abord quand on incline les plaques, et leur évanouissement sous une certaine incidence, simulent presque complétement les effets que produisent les cristaux à deux axes, quand on y transmet la lumière polarisée dans le plan de ces lignes, et alternativement de part et d'autre de l'une d'elles, ce qui amène un point neutre intermédiaire. Cette ressemblance avait fait supposer au docteur Brewster que les plaques d'apophyllite, agissant ainsi, possédaient réellement deux axes optiques de double réfraction moléculaire, et constituaient conséquemment une espèce particulière, différente de celles qui ne produisent pas de telles alternatives. Mais on voit maintenant que ces dernières ne diffèrent des autres que par l'existence occasionnelle des systèmes lamellaires latéraux dont l'action polarisante se combine avec le pouvoir propre à un axe unique de double réfraction; et cet accident d'agrégation, entre des

portions non moléculaires de la masse cristalline, n'établit pas une différence de qualité ou de forme entre ses polyèdres constituants infiniment petits, par lesquels l'espèce est déterminée.

On imite tous les phénomènes que je viens de décrire avec une plaque octaédrique d'alun régulière, comme celle de la fig. 4, en appliquant sur une de ses surfaces une lame mince de mica à un axe attractif, tel que celui qu'on trouve dans la vallée d'Alla, en Piémont. Les conditions de l'action se trouvent en effet alors les mêmes que dans une plaque d'apophyllite où les deux pouvoirs de polarisation coexistent naturellement. Aussi la succession des apparences optiques est-elle pareille. Pour bien faire cette expérience, il faut choisir une plaque d'alun peu active, parce que les échantillons de ce mica d'Alla, toujours très-petits, ont souvent leurs feuillets discontinus, ce qui exige qu'on les emploie très-minces pour les avoir réguliers et uniformes. Or, dans cet état, si le pouvoir propre des systèmes lamellaires de la plaque d'alun était fort énergique, elles ne parviendraient pas à le surpasser, même sous les plus grandes inclinaisons; ce qu'il faut qu'elles fassent pour imiter les phénomènes des troncs d'apophyllite, du moins dans l'état où ceux-ci se rencontrent le plus habituellement. Car on pourrait aussi concevoir que l'action du système lamellaire normal à l'axe étant développée par l'obliquité, formât avec celle des systèmes obliques une somme plus forte que la seule action émanée de l'axe sous des inclinaisons communes; auquel cas elle ne pourrait plus être surpassée ni même égalée par celle-ci; et alors la disparition des segments ne s'opérerait pas. Mais ce cas ne s'est pas présenté dans mes observations. On peut encore

produire des effets analogues, quoique inverses, en combinant la plaque d'alun avec des lames de mica à un axe répulsif, lesquels sont beaucoup plus communs, puisque je n'ai trouvé jusqu'ici que celui d'Alla qui fût attractif. Reprenant donc, dans cette nouvelle supposition, l'expérience tout à l'heure décrite et représentée fig. 39, lorsque l'on inclinera tout le système dans le plan S T, l'action répulsive de mica agira en concordance avec les segments A, B, de la plaque d'alun, et en opposition avec les segments D, E. De sorte que ce seront ceux-ci qui perdront graduellement leur lumière, et s'éteindront sous une certaine inclinaison, pour la reprendre ensuite, si l'action de la lame de mica est assez puissante pour que ces alternatives puissent s'opérer. Il faut, d'ailleurs, attacher toujours ici aux effets d'opposition l'idée d'une réalisation seulement approximative, à cause de l'identité des lois d'intermittence qu'une compensation absolument totale exigerait.

Il existe des troncs pyramidaux d'apophyllite qui, étant observés sous l'incidence normale, ne modifient pas sensiblement la lumière polarisée. Mais ceux de ce genre que j'ai vus ne m'ont pas paru avoir de systèmes lamellaires dirigés suivant leurs faces. Aussi ces faces, au lieu d'être vivement polies comme celles des pyramides précédentes, étaient mates et chargées de stries latérales qui ne réfléchissaient pas spéculairement la lumière, soit intérieurement à la masse, soit extérieurement. Le docteur Brewster a trouvé d'autres troncs, ou plutôt des portions de prismes qui présentaient à la fois des plages actives et inactives sous l'incidence normale. Les inactives occupaient souvent, dans la projection, un carré

central, autour duquel les plages actives étaient distribuées régulièrement. Les apparences produites par de tels assemblages, quand l'obliquité développait l'action de l'axe sur toutes les plages tant actives qu'inactives, avaient fait croire au docteur Brewster que les premières avaient deux axes de double réfraction, et les dernières un seul axe. Mais l'existence ou la non existence des systèmes lamellaires obliques à l'axe des pyramides, suffit pour produire toutes ces diversités que l'on rencontre également dans les plaques pyramidales d'alun, ainsi que je l'ai expliqué page 612 et suivantes. Le docteur Brewster a trouvé quelques tronçons de prismes si bizarrement constitués, que les segments actifs sous l'incidence normale avaient des configurations curvilignes qu'il a représentées dans les fig. 18 et 19 de son mémoire. Mais les systèmes lamellaires latéraux des pyramides d'alun présentent aussi des accidents pareils, comme on peut en juger par la fig. 41 qui a été dessinée et coloriée d'après une plaque réelle, observée en combinaison avec la lame sensible de chaux sulfatée.

J'arrive maintenant aux phénomènes que présentent les portions prismatiques droites des cristaux d'apophyllite, lorsque la lumière polarisée les traverse non plus parallèlement, mais perpendiculairement à leur axe. D'après la réunion d'influences qui concourent à produire ces phénomènes, on conçoit qu'ils devront être divers, selon les diverses circonstances dans lesquelles la cristallisation s'est opérée. C'est en effet ce qui a lieu; et conséquemment leur analyse ne peut être que spéciale pour chaque nature de circonstances, ou plutôt même individuelle pour chaque cristal. Je vais donc me borner à les décrire tels que je les ai

observés sur des échantillons provenant de deux localités différentes, où les conditions de formation des cristaux paraissent avoir été fort dissemblables, quoiqu'ils soient également sortis d'une gangue de même nature, composée de mésotype en masse rayonnée.

Le premier de ces échantillons vient du Groenland. L'apophyllite s'y montre principalement en prismes d'un aspect jaunâtre, droits, à base carrée, terminés tantôt par une face normale à leur axe, tantôt par quatre faces de troncature qui lui sont également obliques. Ils sont associés à quelques mamelons d'apophyllite tabulaire qui ne sont que des portions plus larges de prismes plus courts. C'est pourquoi j'en fais ici abstraction pour considérer seulement les prismes entièrement développés. Ceux-ci ont tous un diamètre moindre que deux millimètres, et, au plus, quatre ou cinq millimètres de longueur. Étant vus à la loupe, ils paraissent, en général, formés par des assemblages de prismes plus petits, apposés longitudinalement, s'arrêtant quelquefois à d'inégales hauteurs, et présentant presque toujours dans leurs plans de soudure, des indications de systèmes lamellaires plus ou moins obliques à l'axe commun. Mais ces assemblages, déjà fort complexes, sont toujours revêtus, je dirai presque enveloppés, d'une croûte externe brillante, sillonnée de stries longitudinales. Si l'on examine cette croûte sur une section transversale des prismes, on voit qu'elle est constituée autrement que l'intérieur de la masse, comme l'avait déjà constaté le docteur Brewster. Cette observation peut se faire commodément avec les petits microscopes de poche, dans lesquels on reçoit directement la lumière des nuées sans réflecteur, et dont le docteur Donné a proposé l'emploi aux

médecins pour leurs observations journalières (1). Je supposerai donc qu'on s'en sert ici pour étudier ces détails, et tous les autres que je pourrais avoir besoin d'indiquer, parce que leur pouvoir amplifiant suffit pour les constater, et que leur bas prix les met à la portée de tout le monde. Les larges plaques transversales étudiées par sir J. Herschel nous fourniront plus loin des preuves optiques de la structure spéciale de cette croûte cristalline externe, qui semble en tout point analogue à celle qui enveloppe les petits cubes d'alun limpides des laboratoires. Mais pour le moment je me borne à mentionner son existence de fait.

On doit facilement prévoir que des masses construites intérieurement d'une manière si peu uniforme, et même généralement discontinue, ne présenteront pas de distribution de couleurs régulières quand on les fera traverser perpendiculairement à leur axe par la lumière polarisée. C'est en effet ce qui arrive. Mais, dans les limites de dimensions que je viens d'indiquer, ces couleurs se bornent presque constamment à un violet plus ou moins bleu, et à un jaune verdâtre, distribués irrégulièrement, sans aucune loi constante, sur toute la surface de projection. Ainsi observées sans l'intermédiaire de la lame sensible, elles paraissent complétement s'évanouir quand l'axe du prisme est parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation primitif, et atteindre leur maximum d'intensité quand il forme un angle de 45° avec ce plan. Le premier de ces caractères indiquerait que les modifications imprimées alors à la lumière polarisée, résultent

(1) On trouve ces microscopes chez M. Soleil, opticien, rue de l'Odéon, à Paris, pour la modique somme de 30 francs.

uniquement d'actions polarisantes dirigées parallèlement et perpendiculairement à l'axe des prismes; ou du moins que ce genre d'influence prédomine assez sur toutes les autres pour ne leur abandonner qu'une proportion inappréciable de la lumière incidente. Mais l'interposition de la lame sensible décèle toujours de pareilles actions obliques à l'axe. Car l'image extraordinaire observée à travers le prisme analyseur armé de sa loupe, reste alors toujours perceptible, dans toutes les directions de l'axe du cristal, devenant seulement très-faible lorsqu'il est parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation primitif. Du reste, le maximum d'intensité sensible des actions s'obtient toujours quand l'axe forme un angle de 45° avec ce plan, comme dans la vision directe. Mais alors certaines parties de la projection du prisme d'apophyllite font passer la teinte propre de la lame au rouge, et d'autres au vert. Si les teintes primitivement observées pouvaient être assimilées avec quelque certitude avec celles des anneaux de Newton, dans leurs premières périodes, on inférerait de ces phénomènes que la résultante des actions du cristal agit suivant des sens contraires, dans les plages correspondantes de sa longueur; de sorte que le pouvoir polarisant dépendant du système lamellaire normal à l'axe dominerait dans les unes, et le pouvoir polarisant moléculaire dépendant de la double réfraction dominerait dans les autres. Mais les teintes observées ne m'ont pas paru se prêter à cette assimilation. J'ai seulement remarqué que les mouvements du prisme cristallisé autour de son axe impriment à ces teintes des variations dont le caractère brusque ne paraît pas du tout pouvoir se rapporter aux progrès réguliers de changement qu'on observe dans celles qui dépendent d'un axe de double réfraction

dont on modifie progressivement la direction; au lieu que ce caractère conviendrait très-bien aux actions d'un système lamellaire qui reçoit tour à tour les rayons lumineux hors du plan de ses lames ou dans ce plan même. En rapportant généralement ces effets aux deux causes principales qui peuvent les produire par leur concours, savoir, à l'action polarisante dépendante de l'axe attractif, et à celle du système lamellaire transversal qui agit aussi avec le même caractère dans le sens de ses lames, on pourrait penser, non sans vraisemblance, que les deux influences contraires sont presque en équilibre dans toute la longueur du prisme pour toutes les espèces de rayons lumineux; mais que, dans certaines plages de cette longueur où l'une d'elles devient accidentellement prédominante, une portion de la lumière transmise se trouve enlevée à la polarisation primitive pour subir le sens de polarisation réglé par cette influence-là; et le mode d'association des rayons inégalement réfrangibles ainsi modifiés, produit la teinte qu'on observe par vision directe dans le prisme analyseur. Cet énoncé fait abstraction de l'influence subsidiaire des actions obliques à l'axe des prismes, que nous avons reconnu être très-faibles relativement à celles qui lui sont parallèles ou normales, dans la variété de cristaux que nous considérons. Mais on doit rigoureusement considérer les teintes observées comme la résultante commune de toutes ces actions, exercées simultanément sur le faisceau lumineux transmis à travers la masse du prisme observé.

Le même mode d'expérimentation va nous servir pour analyser optiquement une autre variété d'apophyllite que le docteur Brewster a également signalée, et qui, dans la structure singulière de ses cristaux d'une parfaite transparence,

offre des alternatives de pouvoirs dominants plus remarquables encore que la précédente, à cause de l'admirable symétrie de leur distribution dans chaque cristal, si petit qu'il soit. Cette variété vient des îles Feroé, et l'apophyllite s'y trouve pareillement surgir d'une gangue de mésotype parmi laquelle ses cristaux sont disséminés. Le docteur Brewster a eu le bonheur d'avoir reçu de ses amis un échantillon de cette variété, qui était extraordinaire par son volume comme par sa perfection. Il l'a étudié dans tous les sens, l'a décomposé en sections transversales qu'il a observées dans le sens de l'axe; et il a donné dans son mémoire une figure coloriée représentant les effets surprenants qu'il produisait, étant observé dans la lumière polarisée perpendiculairement à cette direction. Je m'appuierai souvent, dans ce qui va suivre, sur les résultats que ce célèbre physicien a ainsi obtenus avec autant de patience que de sagacité. Mais je suppléerai aussi aux avantages que lui a donnés cet échantillon unique, en montrant qu'on peut s'en procurer un très-grand nombre qui sont équivalents pour l'optique, lorsqu'on emploie le petit analyseur à loupe pour les étudier, soit immédiatement, soit avec l'auxiliaire de la lame sensible.

Comme ces cristaux sont généralement fort petits et excessivement fragiles, se subdivisant par tranches dans le sens transversal des prismes par le moindre choc, il faut les détacher de leur gangue avec beaucoup de délicatesse, pour ne pas les séparer ainsi en fragments; car leurs plus remarquables particularités ne s'aperçoivent bien que dans leur ensemble. Souvent ils sont implantés dans leur gangue par un des bouts du prisme, de sorte qu'on les tronque inévitablement par cette extrémité en les détachant. Mais souvent aussi

leur adhérence n'a lieu que par des filets capillaires de mésotype au-dessus desquels ils ont surgi ; et alors non-seulement on peut les détacher sans les briser, mais encore le bout par lequel ils adhéraient est tout aussi parfaitement terminé que le bout libre, quoiqu'il le soit différemment. On voit de même, dans les grandes formations d'alun, de petits octaèdres complets, et ce sont les plus purs, qui sont quelquefois nés ainsi sur la surface des gros cristaux, auxquels ils n'adhèrent non plus que par un point ou une sorte de filament presque insensible; de sorte qu'ils s'en laissent séparer par le moindre effort sans être aucunement altérés. Enfin, l'on trouve encore très-fréquemment, dans les anfractuosités de la masse de mésotype, des cristaux d'apophyllite qui n'y adhèrent que par un seul point de leur longueur, des deux côtés duquel leur prisme semble s'être développé symétriquement, comme à partir d'un centre. Ceux-là sont généralement complets dans leur structure, d'une parfaite limpidité, et l'on peut, avec quelques soins, les retirer entiers sans que leurs parties se désunissent. Une masse minéralogique de peu de valeur dans le commerce, peut fournir plusieurs centaines de cristaux d'apophyllite de ces diverses sortes, tous aussi parfaits, aussi remarquables et bien plus variés encore que celui que le docteur Brewster a figuré.

Un de ces petits prismes étant isolé, on le dépose sur une lame de verre, à laquelle on le fait adhérer par une de ses faces latérales, au moyen d'une goutte d'eau légèrement gommée, sur laquelle on le pousse avec un pinceau; et, lorsqu'elle est sèche, elle suffit pour l'y maintenir fixe, de sorte qu'on peut alors l'enlever avec ce support qui le préserve,

et l'observer dans tous les sens. Je suppose qu'on l'étudie d'abord par transmission, sur la lumière du ciel, avec le microscope portatif. On le verra formé, dans toute sa longueur, de segments ou étages distincts, terminés généralement aux deux extrémités de la masse totale par des troncatures prismatiques, qui sont symétriques entre elles si le cristal est complet, et dissymétriques s'il ne l'est pas. En outre, les pans longitudinaux paraissent bordés de lignes continues, qui appartiennent à une écorce d'une construction spéciale. Le docteur Brewster, en étudiant les sections transversales de son grand cristal, les a trouvées ainsi veinées intérieurement de stries parallèles aux faces latérales, jusqu'à des distances variables des bords, selon les diverses parties de la longueur du prisme dont elles étaient extraites. De sorte que les systèmes de plans d'apposition que ces stries latérales indiquent, y pénétraient plus ou moins profondément vers l'axe. On conçoit qu'une telle disposition de structure doit occasionner des variations correspondantes dans l'intensité, comme dans la direction, du pouvoir de polarisation résultant, à diverses distances du centre des sections où elles existent. C'est en effet ce qui a lieu, et ce que le docteur Brewster a aussi constaté. Mais tous les petits cristaux que l'on peut si aisément se procurer, comme je l'ai dit tout à l'heure, portent également les marques d'une organisation semblable. Car d'abord, si on les observe avec le microscope portatif, non plus dans la lumière naturelle, mais dans la lumière polarisée, en dirigeant leur axe à 45° du plan de polarisation primitif, et plaçant derrière l'oculaire une plaque de tourmaline peu colorée, ou mieux encore quelque appareil analyseur peu épais, qui n'altère pas les teintes déve-

loppées par la polarisation, l'on s'aperçoit que les divers segments ou étages compris dans le champ de la vision, sont en général parsemés de couleurs différentes dans l'étendue de leur largeur; et très-souvent ces couleurs changent brusquement d'un segment à un autre qui lui est contigu. En outre, les plans latéraux du prisme sont ordinairement bordés de bandes colorées longitudinales, tantôt pareilles, tantôt dissemblables à celle que présente la portion intérieure de chaque segment, mais généralement plus uniformes sur toute la longueur du cristal que celles des segments mêmes. De sorte que ceux-ci, d'après les intermittences de leurs couleurs, sembleraient être autant de portions prismatiques d'une structure interne inégalement variée, lesquelles seraient toutes contenues dans une boîte commune d'une formation plus continue, et configurée elle-même en prisme carré spécialement assujetti aux conditions de symétrie de la forme primitive; précisément comme on voit des cristaux d'alun composés intérieurement d'octaèdres élémentaires, rangés en lames distinctes, de toutes directions, mais contenus extérieurement dans une surface commune rigoureusement octaédrique. Mais après avoir ainsi étudié les détails de ces prismes d'apophyllite sous le microscope qui agrandit tous leurs accidents de formation, si l'on veut en saisir l'ensemble, il faut les observer dans la lumière polarisée avec le petit prisme de Nicol armé de sa loupe. Alors, en réunissant ainsi plusieurs d'entre eux sur une même lame de verre, dans des directions parallèles, et dirigeant tous leurs axes à 45° du plan de polarisation primitif, on aura l'admirable variété d'apparences que j'ai bien imparfaitement représentées dans les figures 42.

Le seul aspect de ces figures suggère une foule de questions.

D'abord, en admirant la pureté, la régularité des courbes d'égale teinte qui y sont dessinées, on se demande comment de pareils effets peuvent se concilier avec cette distribution discontinue de couleurs qui semblaient varier, sans aucune loi, d'un point à un autre du cristal, quand on l'observait sous le microscope, avec la seule différence d'un grossissement bien plus fort que celui de la loupe simple? Cette apparente contradiction disparaît, si l'on considère que de forts grossissements font arriver séparément à l'œil les images de points très-voisins que la loupe confond. De sorte que leurs couleurs, lorsqu'elles sont dissemblables, se distinguent dans le premier cas, et dans le second se réunissent en une nuance commune. L'effet d'un grossissement faible, mais convenablement choisi, doit donc être de dissimuler ces variations de nuances qui seraient ainsi purement locales et non continues, en faisant cependant saisir celles qui se soutiennent avec continuité sur des lignes même encore très-voisines les unes des autres. Mais un grossissement trop faible rassemblerait ces lignes mêmes et les confondrait en une seule nuance où l'on perdrait leurs particularités. C'est ce qui arrive quand on observe ces mêmes petits cristaux d'apophyllite dans la lumière polarisée, avec le prisme de Nicol non armé d'une loupe, comme dans le grand appareil de la figure 2. On n'y aperçoit ainsi à l'œil nu que des oppositions générales de vert et de rose, réparties par nuances faibles, même dans les plus gros; et les plus petits paraissent sensiblement blancs. Ces effets sont analogues à ceux que présentent les plaques amincies de boracite, quand on les

observe dans la lumière polarisée à l'œil nu, ou avec une loupe, comme je l'ai indiqué page 669. Du reste, dans ces divers modes d'observations des cristaux d'apophyllite, toutes les couleurs développées atteignent leur maximum d'intensité quand l'axe des prismes forme un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif; et elles s'évanouissent entièrement, du moins dans la transmission immédiate, lorsque l'axe devient parallèle ou perpendiculaire à ce même plan. D'après cette épreuve, la résultante des pouvoirs de polarisation, développés en divers points de la longueur des cristaux, serait aussi toujours dirigée suivant l'une ou l'autre de ces deux directions, sans aucune interversion appréciable des systèmes lamellaires obliques à l'axe. Mais en répétant les mêmes observations avec l'intermédiaire de la lame sensible, on voit que l'action de ces systèmes est seulement très-faible comparativement à celles-là, sans être absolument nulle. Car la restitution de la teinte propre de la lame sensible n'est jamais tout à fait complète, quelque direction que l'on donne à l'axe des cristaux. Lorsqu'on le rend parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation primitif, le champ de la vision reste encore sensiblement parsemé de taches, ou même de lignes, vertes ou rouges, très-peu lumineuses, qui sont autant de modifications imprimées à la teinte propre de la lame sensible par les systèmes lamellaires obliques à l'axe, dont les effets ne s'évanouissent pas dans ces positions. On se demandera ensuite quelle est la composition des teintes qui se distinguent ici avec la loupe? Le docteur Brewster les assimile à celles des anneaux colorés de Newton. Sans prétendre affirmer que cette analogie soit absolument rigoureuse, il m'a semblé qu'on pouvait du moins

l'employer comme très-approximative dans les premières périodes de ces teintes. Car en se bornant, comme je l'ai fait, à étudier de très-petits cristaux, on n'en voit aucune qui ne puisse être très-bien représentée pour l'œil par une de celles qui composent le premier ordre d'anneaux de Newton, et le commencement du second ordre, telles que je les ai désignées dans mon Précis de physique, tome II, page 415, 3e édition. Cette supposition semble confirmée par l'expérience suivante. Ayant observé immédiatement ces teintes avec le petit prisme analyseur armé de sa loupe, choisissez-en une des plus distinctes dont vous évaluerez le rang, d'après son aspect, dans la table de Newton; puis mettez-la en combinaison avec la lame sensible, en tournant successivement le cristal de manière que son axe forme avec le plan de polarisation primitif des angles de $\pm$ 45°. Cette alternative de positions mettra le pouvoir résultant qui produit la teinte observée, tour à tour en opposition et en concordance avec l'action propre de la lame sensible. Or, les teintes qui se manifestent dans ces deux cas s'accordent toujours très-approximativement avec celles qu'indiquait la valeur numérique attribuée à la teinte choisie, en la combinant par différence ou par somme avec le nombre 21 qui exprime à peu près la teinte de la lame sensible.

Cette identification des teintes avec celles des anneaux de Newton étant admise, au moins comme approximation, le sens additif ou soustractif de la modification opérée ainsi dans la teinte propre de la lame sensible, indique le sens de l'action exercée par le pouvoir de polarisation qui domine dans le cristal, au point de sa surface de projection où on l'observe. Or, en le comparant toujours à celui d'une lame mince douée de la double réfraction

attractive, comme je l'ai fait dans ce qui précède, je trouve que, dans tous les petits cristaux ainsi étudiés, il se montre constamment transversal ; comme si l'action du système lamellaire normal à l'axe, qui s'exerce toujours dans ce sens, prédominait sur le pouvoir moléculaire dépendant de cet axe, dans toute la longueur de ces cristaux. Cette prédominance serait due ici, sans doute, à la faiblesse de la double réfraction moléculaire que l'apophyllite exerce. Mais il serait très-possible que l'on observât un effet inverse dans des cristaux de variété différente, où le pouvoir du système normal à l'axe serait moins développé. Et cela m'a paru quelquefois avoir lieu ainsi pour les cristaux du Groenland, au moins dans plusieurs portions de leur longueur totale. Mais la nature des teintes qu'on y observe ne m'a pas permis de décider complétement ce point. Dans tous les cas, il en est du moins évident que le pouvoir de polarisation, résultant de l'action moléculaire de l'axe combinée avec celle des systèmes lamellaires transverses, varie d'intensité en divers points de la longueur d'un même prisme, puisqu'on y observe des teintes différentes. Et cette notion certaine suffit pour expliquer plusieurs phénomènes remarquables que je rappellerai plus loin.

La singulière symétrie des lignes d'égale teinte que l'on admire dans les cristaux de Feroë semble si analogue à celle des verres trempés, qu'on serait d'abord porté à croire qu'elle résulte aussi d'une réaction opérée entre toutes les parties de leur masse. Mais cette supposition s'exclut en les partageant par fragments, auxquels on conserve la même direction d'axes sur la lame de verre qui les porte, après les avoir séparés. Car la même disposition des lignes d'égale

teinte se soutient dans ces fragments comme s'ils étaient encore unis. Un de ceux que comprennent les figures 42, est représenté ainsi subdivisé.

Quand on observe ces mêmes cristaux en les superposant, leurs axes étant rendus parallèles ou croisés à angles droits, les teintes transmises à travers la somme de leurs épaisseurs deviennent autres qu'elles ne paraissaient dans leurs actions isolées. Mais ceux que j'ai eus à ma disposition étaient trop petits pour que je pusse tenter de déterminer comment les teintes varient dans ces deux sens d'association. Et d'ailleurs, j'ai déjà fait remarquer combien les résultats ainsi obtenus semblent complexes, même avec les plaques d'alun où l'étendue des plages de même teinte permet de les mieux définir. J'ai seulement constaté que les cristaux à teintes symétriques donnent encore des effets symétriques quand on fait coïncider leurs centres en rendant leurs axes parallèles; et au contraire leurs effets combinés deviennent dissymétriques lorsque les centres ne coïncident pas. Un même cristal donne généralement des lignes d'égale teinte de différentes couleurs, quand on l'observe transversalement à travers deux de ses faces, ou à travers les deux autres faces rectangulaires. La seule configuration de ces lignes m'a toujours paru la même dans les deux sens. Ce dernier résultat est conforme à la symétrie de direction et de distribution autour de l'axe que la forme primitive de l'apophyllite semble devoir imprimer aux systèmes lamellaires qui s'y développent. Mais l'inégalité des teintes qui s'observent à travers les plans du prisme suivant les deux sens rectangulaires, indiquerait que ces systèmes pourraient avoir une inégale intimité autour de l'axe dans une même section trans-

versale du prisme ; ou que l'agrégation moléculaire elle-même pourrait n'y être pas uniformément régulière. Car le premier cas se présente fréquemment dans les systèmes lamellaires intérieurs d'une pyramide octaédrique d'alun ; et, d'une autre part, on trouve des cristaux doués d'une double réfraction moléculaire énergique, dont la structure intestine devient occasionnellement assez discontinue pour que ce phénomène ne puisse plus s'y opérer. Ces mêmes accidents sont encore plus concevables dans un minéral dont la double réfraction est excessivement faible, comme l'apophyllite. Et les moindres variations survenues dans cet élément, ou dans le degré d'action des systèmes lamellaires, doivent entraîner des différences correspondantes, que les cristaux présentent dans la lumière polarisée, lorsqu'on les observe à travers les pans du prisme dans les deux sens rectangulaires.

Une preuve manifeste de l'influence exercée sur les teintes par l'intensité relative et actuelle de ces deux causes contraires, c'est que l'ordre de ces teintes dans divers cristaux ne dépend pas uniquement de leur épaisseur transversale ; étant quelquefois plus variées, et atteignant un ordre plus complexe dans des cristaux plus fins ou d'un moindre volume, comme l'alun nous en a déjà offert des exemples. La configuration des courbes d'égale teinte dans des cristaux d'égale grosseur comparés les uns aux autres, manifeste aussi les phases variables de cet équilibre occasionnel, étant toujours appropriée à leurs formes et aux accidents de leurs surfaces externes ; de manière à s'y trouver généralement symétriques ou non symétriques des deux côtés du centre du cristal, selon que les troncatures terminales le sont ou ne le sont pas. Et même, parmi ceux où la symétrie des tronca-

tures extrêmes entraîne celle des teintes terminales, on en trouve où cette symétrie est occasionnellement troublée dans quelque point de la longueur du prisme, même vers les parties les plus centrales, comme je l'ai représenté pour l'un d'eux dans les figures 42. Il n'y aurait aucune vraisemblance à vouloir faire dépendre de pareils accidents d'une organisation moléculaire liée à la forme primitive, qui serait tantôt à un axe unique de double réfraction, tantôt à deux axes, hypothèse qui serait encore loin de les pouvoir expliquer. Mais il est au contraire aussi simple que légitime de les attribuer à la combinaison du pouvoir moléculaire de double réfraction avec le pouvoir non moléculaire des systèmes lamellaires que nous voyons être si variés dans l'apophyllite, et que nous savons d'ailleurs avoir la faculté de produire des phénomènes de couleurs dans la lumière polarisée, tant isolément qu'en combinaison avec les substances douées de la double réfraction moléculaire. Voilà la principale conséquence à laquelle je voulais parvenir, et elle me paraît suffisamment établie par les expériences qui précèdent, quoique sans doute il reste encore beaucoup à faire pour analyser complétement tout ce que ces petits cristaux d'apophyllite présentent de merveilleux.

Ayant ainsi reconnu qu'un même prisme carré de ce minéral développe généralement dans la lumière polarisée des teintes différentes en divers points de sa longueur quand on l'observe dans le sens transversal, supposez qu'en une certaine partie de sa masse totale on en coupe un tronçon d'une hauteur finie, et qu'on l'observe dans la lumière polarisée, non plus transversalement, mais suivant son axe, en transmettant d'abord le faisceau polarisé à travers les bases sous l'incidence normale, puis sous des directions progressivement

de plus en plus obliques. Dans la première position, l'action moléculaire émanée de l'axe sera nulle ainsi que celle du système lamellaire qui est parallèle aux bases. Conséquemment si la plaque observée ne contient pas intérieurement de systèmes lamellaires obliques à l'axe, ou si ces systèmes obliques n'ont, par eux-mêmes, qu'une action insensible dans l'épaisseur employée, le faisceau transmis conservera sa polarisation primitive, dans quelque sens qu'on tourne la plaque sur son propre plan. Mais pour peu qu'on l'incline sur ce faisceau, le pouvoir moléculaire dépendant de l'axe de double réfraction, et celui du système lamellaire transverse, se manifesteront, avec les intensités propres que chacun d'eux possède dans chaque tranche de la plaque observée. De sorte qu'on verra se développer des couleurs résultantes de ces actions contraires, lesquelles, étant réglées par leur opposition, pourront être fort différentes de celles qu'une action moléculaire unique produit habituellement. Cette observation étant faite, supposez que l'on sépare la plaque par une section transverse en deux parties que l'on étudiera séparément de la même manière. Toutes deux auront pareillement leur action nulle sous l'incidence normale. Mais, sous les incidences obliques, leurs effets résultants individuels pourront différer beaucoup entre eux, comme aussi de ceux que produisait la plaque totale composée de leur somme. Et cela même arrivera ainsi en général; car, pour qu'il en fût autrement, il faudrait que les deux causes d'action contraires, qui concourent à cet effet, eussent un même rapport d'intensité dans toutes les tranches constituantes des deux plaques, ce que l'observation transversale des cristaux complets montre ne devoir exister qu'accidentellement, et dans des cas extrê-

mement rares. Voilà précisément la série de phénomènes qui s'est offerte à sir J. Herschel, lors de ses observations sur les plaques d'apophyllite de la variété tabulaire, publiées dans les *Transactions philosophiques* de Londres et Cambridge pour les années 1820 et 1821. Mais les lois de composition des teintes successives qu'il a ainsi vues se développer, et dont il a déterminé les périodes de succession spéciales, ne peuvent pas être attribuées à une double réfraction moléculaire, émanée d'un axe unique, qui imprimerait aux rayons transmis de telles affections. Comme aussi les différences que les diverses plaques d'apophyllite tabulaire, ou les diverses subdivisions d'une même plaque, lui ont présentées dans leur mode d'action, ne peuvent pas être considérées comme appartenant à des espèces d'apophyllite différentes, qui seraient définies par ces caractères; mais à des portions de prismes d'une espèce moléculairement constante, où l'état des systèmes lamellaires transverses a été occasionnellement différent. Les déterminations de cet habile observateur sont d'ailleurs parfaitement exactes en elles-mêmes, comme on pouvait l'attendre de lui. On ne peut aussi donner trop d'éloges à la sagacité avec laquelle le docteur Brewter a développé les détails de l'action polarisante exercée dans tous les sens de coupe par les rares cristaux qu'il possédait. Je ne puis faire mieux que de m'appuyer sur cette partie de son travail, pour laquelle je suis loin d'avoir eu les mêmes avantages. Je ne m'écarte de ces deux physiciens célèbres que pour la partie de l'interprétation des phénomènes dans laquelle le pouvoir propre des systèmes lamellaires intervient comme élément essentiel.

La faveur que sir J. Herschel m'a faite, en m'envoyant d'Angleterre les plaques mêmes d'apophyllite qu'il avait ob-

servées, m'a permis d'y constater une propriété curieuse sur la constitution de leur écorce latérale, la même sans doute qui enveloppe toute la longueur des prismes dans les petits cristaux des îles Feroë. Lorsqu'on transmet immédiatement sous l'incidence normale un faisceau polarisé, à travers ces plaques, elles semblent, comme l'a dit sir J. Herschell, n'exercer sur lui aucune action, ou tout au plus quelques traces irrégulières d'action à peine appréciables, en quelque sens que l'on tourne la plaque sur son propre plan. Mais lorsqu'on emploie l'intermédiaire de la lame sensible, ces traces d'action, disséminées sur toute la surface des plaques, deviennent très-manifestes par les teintes rouges ou vertes qu'elles développent. Or, outre ces effets irréguliers et accidentels, on observe, surtout dans la plus épaisse des deux plaques, un effet régulier, du même ordre de faiblesse, mais fort important par les relations qu'il exprime. Cet effet a lieu sur les bords rectangles, dans lesquels l'écorce enveloppante existe encore bien vive et bien caractérisée. Là, jusqu'à une certaine distance de ces bords, on voit une bande de largeur constante qui fait passer la teinte de la lame sensible au rouge, lorsque le côté où elle se forme est parallèle à la section principale de cette lame; et au vert lorsqu'il lui devient rectangulaire, précisément comme cela arrive pour l'enveloppe corticale des cubes d'alun. D'où il résulte que, dans les deux genres de cristaux, cette écorce doit être formée, soit par un système lamellaire parallèle au plan des faces et qui agirait comme par réflexion, non par réfraction; soit par un système lamellaire normal aux faces et agissant à la manière ordinaire de ces systèmes, sauf que dans l'alun il devrait présenter sur chaque face deux

clivages rectangulaires ainsi disposés. Je ne puis décider, entre ces deux cas, quel est celui que la nature réalise ; mais l'existence d'une action spéciale propre à cette enveloppe est toujours un fait curieux de cristallisation, parce qu'il se lie sans doute aux conditions de formation en vertu desquelles la surface externe des cristaux se trouve toujours si exactement configurée, conformément aux caractères de la forme primitive, quels que soient les caprices d'agrégation de l'intérieur des masses mêmes.

Pour pouvoir compléter cette analyse physique de l'apophyllite, il aurait fallu avoir des cristaux prismatiques transparents dont le volume fût tel qu'on pût y mesurer les deux réfractions, dans le sens transversal, en divers points de leur longueur; ce qu'on aurait fait en appliquant contre une de leurs faces latérales un prisme rectangulaire de crown qui aurait compensé approximativement ces deux réfractions, de manière à laisser seulement sensible leur différence. Car l'observation étant ainsi effectuée, aux points où ils développent dans la lumière polarisée des teintes dissemblables, on aurait vu d'un seul coup d'œil si cette inégalité modifie sensiblement les intensités absolues des deux réfractions moléculaires ; et cette connaissance aurait été utile à la cristallographie autant qu'à la physique. Le docteur Brewster a eu le bonheur d'avoir à sa disposition de pareils cristaux. Mais, par un hasard que je regrette, il n'en existe en ce moment à Paris que dans une seule collection, celle du Muséum d'histoire naturelle. Parmi ceux de ce genre qu'elle possède, et qui viennent de l'Inde, j'en ai distingué un, couché sur sa gangue, dont la transparence ainsi que le volume réunissent toutes les conditions dont j'avais besoin Ce cristal, dans son état

actuel, ne dit rien de plus pour la minéralogie que ses congénères de la même variété, auxquels il est associé sur la même gangue ; et les qualités spéciales qui pourraient le rendre utile sont perdues pour tout le monde. J'avais demandé qu'on voulût bien le soulever de cette gangue où il gisait ignoré, afin de pouvoir l'observer, comme je viens de le dire, soit en totalité, soit dans ses fragments, ce que j'aurais fait sans les détériorer. Mais cet avantage a été refusé à mes instantes prières. Privé de ce secours, et l'âge qui me presse ne me permettant plus d'espérer que je pusse faire venir de pareils cristaux de pays lointains, je suis obligé de présenter, sous forme de questions, plusieurs points de minéralogie et d'optique que cette observation aurait pu éclaircir ou résoudre; et cette exposition servira du moins pour en signaler l'importance à d'autres expérimentateurs.

Premièrement : dans les substances cristallines à deux axes optiques, qui présentent un système lamellaire bien marqué, également incliné sur ces axes, comme les micas et les topazes, par exemple, l'angle apparent des axes n'est-il pas sensiblement influencé par l'action propre du système lamellaire, combinée avec le pouvoir moléculaire que la forme indique? Ne serait-ce pas pour cela que de telles substances, étudiées dans des échantillons de même forme minéralogique et d'une même composition chimique fondamentale, présentent de si grandes différences dans les grandeurs des angles compris entre leurs axes, conclus de l'observation des anneaux? C'est ce que l'on voit, par exemple, quand on compare les topazes incolores avec les topazes jaunes, ou même les échantillons de chacune de ces variétés entre eux. Ne serait-ce pas aussi en partie pour cela que les micas à deux

axes paraissent, sous ce même rapport, si différents les uns des autres, même dans des cristaux qui se pénètrent? et enfin cette cause n'influe-t-elle pas sensiblement sur la double réfraction apparente, surtout près de ces axes, où l'action réellement moléculaire s'affaiblit progressivement jusqu'à s'évanouir? Les mesures d'écartement des rayons, que j'ai faites dans les topazes, et que Fresnel a employées, sont, je crois, avec celles qu'il y a ajoutées lui-même, les seules que l'on ait effectuées jusqu'ici dans les cristaux à deux axes optiques; et malheureusement elles sont toutes bornées à des transmissions opérées suivant les sections principales, hors des conditions où les résultats pourraient être le plus sensiblement influencés par l'intervention des systèmes lamellaires, dont on ne soupçonnait pas alors l'action. Il serait donc fort à désirer que ces mesures fussent reprises et étendues suivant le point de vue que je viens de signaler, pour savoir si, dans le voisinage des axes apparents, elles seraient ou ne seraient pas en exacte conformité avec la loi théorique qu'on y suppose. Car ce point ne peut plus être décidé que par de pareilles mesures, et non par des phénomènes d'anneaux seulement, puisque ceux-ci pourraient bien être influencés par l'action coexistante des systèmes lamellaires, sans que la marche des rayons doublement réfractés le fût dans une proportion sensible, et inversement.

Deuxièmement: dans les cristaux qui ont un seul axe de double réfraction, et où il existe un clivage lamellaire perpendiculaire à cet axe, l'action de ce système ne modifie-t-elle pas plus ou moins notablement l'intensité propre du pouvoir moléculaire; accroissant ce pouvoir en apparence quand il est répulsif, et l'affaiblissant quand il est attractif,

de manière à en présenter une indication inexacte quand on le conclut des seuls phénomènes apparents de polarisation? Même, lorsque de pareilles substances ne peuvent pas être obtenues en cristaux transversalement diaphanes, où l'on puisse observer et mesurer la duplication des images, si l'on y trouve un seul axe répulsif, normal à leurs lames, en le concluant des seuls phénomènes de couleurs, ne pourrait-il pas arriver que l'existence de cet axe ne fût qu'apparente, et que les phénomènes qui le simulent fussent uniquement produits par l'action non moléculaire du système lamellaire? Ou bien encore, que l'axe moléculaire réel fût attractif, tandis que la résultante observée des deux actions serait répulsive; ce qui intervertirait le rapport qui paraît exister entre le caractère attractif ou répulsif de cet axe et la proportion de longueur de la droite à laquelle il correspond dans la forme primitive, comme le spath d'Islande et le quartz en offrent l'exemple? Cette dernière cause d'illusion peut très-bien être trouvée réalisée pour plusieurs variétés de micas à un axe. Car, parmi un très-grand nombre que j'ai autrefois étudiés, je n'en ai trouvé qu'un seul qui fût attractif. C'est un mica à petites lames verdâtres venant de la vallée d'Alla en Piémont. Or, une exception si particulière est en elle-même peu vraisemblable, et ce que je viens de dire peut faire très-légitimement présumer qu'elle n'est qu'apparente.

En résumé, sachant aujourd'hui que les systèmes lamellaires constituants des corps cristallisés peuvent, par eux-mêmes, développer des phénomènes de polarisation indépendants de la double réfraction moléculaire, mais capables de se combiner avec les effets analogues que cette dernière

produit, on ne peut plus considérer les résultats complexes de ces deux genres d'action comme caractéristiques des formes primitives; et ainsi l'on ne saurait en tirer aucune objection contre la nature de ces formes, telles que la cristallographie les assigne, en se fondant sur les rapports de configuration et de structure que les masses cristallines doivent avoir avec les solides moléculaires qui les engendrent par apposition. On voit, en outre, qu'il faut reprendre, avec cette connaissance, les observations de mesures qui ont été précédemment faites sur la marche de la lumière dans les différents corps cristallisés, afin de dépouiller leur action moléculaire de ces effets de masse qui s'y combinent. Cela est surtout essentiel pour les corps dont l'action doublement réfringente est faible. Indépendamment des nouvelles données que cette reprise des anciennes expériences pourrait vraisemblablement fournir à la théorie de la lumière, elle achèverait de fixer avec une entière certitude les lois physiques du mouvement des rayons lumineux dans les cristaux, lois qui, pour les cristaux à deux axes surtout, ne sont pas encore établies par des mesures assez complètes.

ADDITION.

Pendant l'impression de ce mémoire, M. Gautier m'a envoyé une nouvelle collection de cristaux d'alun, tant pyramidaux que cunéiformes, spécialement choisis avec les deux conditions d'être parfaitement limpides, et d'avoir leurs pointes ou leurs arêtes terminales tout à fait exemptes de troncatures. Cette dernière particularité est si rare que M. Gautier a pu seulement en trouver un petit nombre qui

la présentât parmi trente ou quarante mille kilogrammes de cristaux parmi lesquels il les a choisis.

Cet envoi offrait encore une autre circonstance digne de remarque. Il avait été séparé en deux parts. Dans l'une, les cristaux ne contenaient d'ammoniaque que ce qui avait pu rester dans les eaux mères, provenues d'une succession de fabrications déjà anciennes. Ils étaient, sous ce rapport, dans les mêmes conditions que ceux que M. Gautier m'avait envoyés précédemment. L'autre portion, au contraire, consistait en cristaux d'une nouvelle fabrication, où l'on avait directement employé un poids de sulfate alcalin composé de $\frac{9}{10}$ sulfate potassique et $\frac{1}{10}$ sulfate ammonique; de sorte qu'ils devaient contenir une proportion d'ammoniaque beaucoup plus forte que les précédents. Mais il ne m'a pas paru en résulter une différence d'énergie notable dans leurs actions polarisantes. En outre, quoique tous ces cristaux fussent d'une admirable limpidité, et que leurs pointes, ainsi que leurs arêtes terminales, ne parussent affectées d'aucune troncature, leur constitution intérieure, étudiée par le prisme, n'était ni plus ni moins régulière que celle des cristaux où les troncatures sont apparentes. Cela achève de prouver que ces troncatures ne sont, le plus souvent, que l'extension des systèmes lamellaires perpendiculaires à l'axe de l'octaèdre, prolongés occasionnellement jusqu'aux surfaces externes, comme je l'ai déjà fait remarquer. Et ici, les troncatures étaient nulles, parce que ces systèmes transverses ne s'étendaient pas jusqu'aux limites du cristal, mais restaient dans l'intérieur; ce qui devait être une circonstance très-exceptionnelle qui explique leur rareté.

REMARQUES

SUR LES CRISTAUX D'APOPHYLLITE DE FEROË,

FIGURÉS DANS LA DERNIÈRE PLANCHE DU MÉMOIRE.

Ces cristaux sont représentés tels qu'on les voit dans la lumière polarisée quand on les observe transversalement avec le prisme de Nicol armé d'une loupe. J'ai fait d'abord les épures des dessins, d'après l'observation, le plus exactement qu'il m'a été possible; et un habile artiste, M. Roux, les a ensuite coloriés de même, d'après leur aspect, aussi observé.

Tous ces cristaux reposent sur une gangue de mésotype mamelonnée. Mais ceux qui sont incomplets en sortent en saillie par une section transversale; tandis que ceux qui sont complets sont nés par un point de leur longueur sur un petit mamelon de mésotype, et se sont accrus longitudinalement des deux côtés du point de contact. Il est évident que ce dernier mode de génération ne comporte pas nécessairement une terminaison par troncatures symétriques aux deux extrémités du cristal; et aussi n'en ai-je pas trouvé un seul où cette symétrie fût complète. Mais on remarque pourtant, en général, une correspondance singulière entre les deux moitiés ainsi engendrées. Elle est d'autant plus frappante, que chacune de ces moitiés est toujours composée d'un certain nombre d'étages d'inégale hauteur, entourés chacun d'une sorte de cadre qui leur est propre, le tout étant renfermé dans une boîte commune, d'une construction spéciale.

Or, le plus souvent, ces étages se correspondent dans les deux moitiés du cristal à égale distance du centre; comme le montre l'identité presque constante des teintes qu'ils développent dans la lumière polarisée, tant dans leur intérieur que sur leurs contours.

Parmi plusieurs centaines de ces cristaux qui existent sur une même masse de mésotype que je possède, les plus gros n'ont que 5 millimètres de longueur, avec 1 millimètre de diamètre transversal; et il y en a d'infiniment plus petits. Mais ceux-ci n'en sont pas moins constitués de la même manière. Toutefois, comme on devait s'y attendre, la nature et la variété des teintes qu'ils produisent dans la lumière polarisée, ne dépendent pas uniquement de leur grosseur. C'est pourquoi je ne me suis pas astreint à les dessiner sur une échelle commune. J'ai varié au contraire les dimensions de la figure autant qu'il le fallait pour rendre la distribution des effets bien manifeste. Cette construction merveilleuse, dans des cristaux d'une si grande ténuité, et qui leur donne la faculté d'agir si puissamment sur la lumière polarisée, fait bien concevoir comment les particules de certains corps, avec une ténuité infiniment plus grande, peuvent exercer aussi sur la lumière des actions rotatoires dépendantes de leur configuration et de leur nature, lesquelles deviennent perceptibles par leur accumulation.

Ce mode de construction des cristaux d'apophyllite est propre au gisement des îles Feroë. Des apophyllites du Groenland, qui naissent aussi sur une gangue de mésotype, ne présentent que des traces de l'organisation que je viens de décrire. La masse intérieure y est de même contenue dans une enveloppe commune; mais la disposition lamellaire transversale n'offre généralement aucune continuité. Je ferai remarquer, enfin, que la construction progressive des cristaux de Feroë par étages distincts, symétriquement ou dissymétriquement distribués autour d'un centre, diffère notablement du mode de génération des cristaux le plus habituellement adopté; lequel consiste à les considérer comme formés de couches concentriques infiniment minces, successivement apposées autour d'un embryon central, qui est déjà configuré comme la masse totale. Mais le résultat est le même pour la configuration externe; parce que les conditions par lesquelles la cristallisation se termine, paraissent diriger toujours les surfaces limites suivant les angles dièdres que la théorie

admet comme possibles, pour chaque substance, d'après la considération des décroissements propres aux particules intégrantes dont on conçoit le cristal formé. Du moins, c'est ce qui résulte des mesures faites par M. de la Prosvostaye, avec le goniomètre à réflexion, sur des cristaux d'alun parfaitement limpides que je lui avais remis, et dont la constitution intérieure, conclue de leur action sur la lumière polarisée, était excessivement diverse.

J'ai cru remarquer que l'action de ces cristaux de Feroë, sur la lumière, devenait plus nette, et plus vive, quand on les imprégnait d'alcool. Il se pourrait qu'en s'insinuant dans les interstices les plus larges de leur système lamellaire transversal, ce liquide y empêchât la polarisation par réflexion, laquelle, s'exerçant dans le sens longitudinal des cristaux, contrarierait les actions propres de leurs systèmes transverses, en affaiblirait les résultats par un mélange de lumière blanche, plus ou moins abondante. Sir J. Herschel a aussi observé un effet, qui semblerait analogue, après avoir imprégné d'essence de térébenthine des plaques d'apophyllite tabulaire.

J'ai joint, à cette dernière planche, la figure réduite d'un grand échantillon de ces mêmes cristaux, qui a été insérée, par le docteur Brewster, dans les Transactions philosophiques d'Édimbourg pour 1821. A en juger d'après sa représentation, ce cristal devait être beaucoup plus exactement régulier qu'aucun de ceux que j'ai eu l'occasion d'observer.

NOUVELLES NOTES

SUR LE CAMBIUM,

EXTRAITES D'UN TRAVAIL

SUR L'ANATOMIE DE LA RACINE DU DATTIER.

PAR M. DE MIRBEL.

Lues dans la séance du 29 avril 1839.

Tous les naturalistes qui se sont occupés de l'anatomie végétale ont pu remarquer dans l'intérieur des plantes, à diverses époques de leur végétation, une matière mucilagineuse, comparable à une solution de gomme arabique. Cette matière forme des couches dans les tiges et les branches des dicotylés et monocotylés. Elle se dépose en masse dans de grands interstices que les utricules laissent entre elles, ou même dans la cavité des utricules et des tubes. Je ne saurais dire si alors elle est ou n'est pas organisée; mais ce que je crois fermement, c'est que d'elle provient toute organisation. Grew, qui le premier reconnut l'existence de cette matière et en devina la destination, il y a plus de cent cinquante ans, lui donna le nom de *cambium*. J'ai adopté ce nom, ainsi que l'opinion de Grew. En cela, j'ai suivi l'exemple de Duhamel; mais j'ai

reconnu de bonne heure que le seul moyen de faire prévaloir la doctrine de ces deux illustres phytologistes, serait de prouver, par une série d'observations étroitement liées les unes aux autres, que la matière dont il s'agit passe, par degrés insensibles, de l'état amorphe à l'état d'un tissu cellulaire continu, lequel se disloque plus tard et se montre sous forme d'utricules distinctes. Depuis plusieurs années, tous mes travaux ont eu pour objet principal cette démonstration. On s'étonnera peut-être que je m'en sois occupé si longtemps; mais, en y réfléchissant, on reconnaîtra que la tâche que j'ai entreprise n'est rien moins que l'étude la plus approfondie de la formation de tous les tissus qui constituent les divers organes végétaux. Il s'en faut que j'aie atteint le terme de mes recherches; d'autres, plus tard, devront songer à les poursuivre ou peut-être à les recommencer.

Je me bornerai pour le moment à indiquer ce que j'ai observé dans les racines du Dattier. Durant le cours de leur végétation, elles m'ont offert de fréquentes occasions d'étudier le cambium et la succession des modifications par lesquelles il passe. Cette matière ne m'était apparue anciennement que sous l'aspect d'un simple mucilage. L'emploi que je fis ensuite de meilleurs instruments d'optique m'apprit que presque toujours le mucilage était celluleux; mais quand je tentai de pénétrer plus avant vers l'origine, je rencontrai tant de difficultés, que je désespérai de passer outre.

Toutefois, j'ai été plus heureux au commencement de l'année dernière. Soit que le hasard m'ait mieux servi, soit que j'aie tiré un meilleur parti de mon microscope par l'emploi plus fréquent de forts oculaires, soit encore que certains indices, que j'avais dédaignés bien à tort, aient plus vivement

excité mon attention, il est de fait que j'ai vu, avec toute la netteté désirable, sur des coupes transversales de racine, des amas de cambium dont la surface semblait mamelonnée. Mais je ne tardai pas à reconnaître que cette vision, au lieu d'être due à la présence réelle d'une forme matérielle, n'était qu'une illusion d'optique résultant de l'inégale densité de la matière, ainsi que je l'expliquerai à quelques lignes d'ici.

Nul doute que la formation de ce cambium d'apparence mamelonnée ne précède la naissance des cellules, puisqu'elles se substituent à lui. J'ai donc fait un pas de plus vers la connaissance de la substance organisatrice, que lorsque je lus, en 1837, ma première note à l'Académie. Il s'agit maintenant d'expliquer comment les prétendus mamelons font place à de véritables cellules. La série non interrompue de mes observations répond à cette question. Sur des coupes de cambium aussi jeune, ou peu s'en faut, que celles dont je viens de parler, j'aperçus souvent, au centre de chaque mamelon, un point sombre, indice non équivoque de la très-récente formation d'une cavité cellulaire. Souvent aussi, à la place du point, je vis une tache grise de notable dimension, et je dus conclure que la cellule s'était agrandie. Dans ce dernier cas, il n'y avait plus apparence de mamelon, et les cloisons indivises qui limitaient les cellules contiguës étaient d'autant moins épaisses, que les cavités avaient acquis plus d'ampleur.

La fréquente comparaison que j'eus l'occasion de faire du cambium d'apparence mamelonnée avec le cambium devenu celluleux, me convainquit que la métamorphose s'opérait sans qu'il y eût augmentation sensible de la masse; ce qui s'explique très-bien par la condensation qu'éprouve la matière employée à la formation des cloisons. Elle se retire

du centre, s'accumule à la circonférence et gagne en densité ce qu'elle perd en volume. De là l'illusion d'optique que j'ai signalée précédemment.

Les cellules ne restent pas longtemps dans l'état que je viens de décrire : leurs parois s'étendent, se couvrent d'élévations papillaires disposées en forme d'échiquier, et quoiqu'elles aient plus de consistance que dans l'origine, elles contiennent encore beaucoup d'humidité. On pourrait dire que leur substance est devenue gélatiniforme, de mucilagineuse qu'elle était.

Peu après, ces mêmes cellules, qui d'abord n'ont affecté aucune forme déterminée, se dessinent sur les coupes transversales en hexagones plus ou moins réguliers ; leurs cloisons s'étendent et s'amincissent, se sèchent et s'affermissent ; leurs papilles disparaissent et sont remplacées par des lignes horizontales, parallèles, fines et serrées, qui ressemblent à de légères stries. Il y a aujourd'hui plus de trente ans que j'ai remarqué ces lignes dans les vaisseaux, et que j'en ai parlé dans les termes qui suivent : « Dès l'instant que les vaisseaux « commencent à se développer, et à une époque où leur tissu « sort à peine de cet état de mollesse, ou même de fluidité, « que nous nommons mucilagineux, on distingue à leur su- « perficie des lignes transversales et opaques qui indiquent, « dans la partie où elles se trouvent, un renflement et un « épaississement de la membrane (1). » Et je croyais, dans ce temps comme aujourd'hui, qu'une certaine relation existe entre ces lignes et les découpures qui, plus tard, se montrent

(1) Voyez *Exposition de la théorie de l'organisation végétale*, p. 206, 2e édition, Paris, 1809.

dans les vaisseaux; mais je dois avouer que, sur ce dernier point, mes idées étaient alors très-confuses.

J'ai dit tout à l'heure, en m'appuyant sur des recherches plus récentes, que les lignes des cloisons sont horizontales : c'est en effet ce qui paraît pour quiconque observe une coupe transversale. Il en est tout autrement si la vue se porte sur une coupe longitudinale; alors les lignes sont verticales. La même portion de cloisons, selon sa position relativement à l'œil de l'observateur, semble donc rayée dans un sens ou dans un autre; mais, à ma connaissance, il n'arrive jamais qu'on voie simultanément les deux sortes de lignes qui, le cas échéant, se croiseraient à angle droit. J'ai décrit, il y a peu d'années, un fait analogue que m'ont présenté les laticifères du *Nerium Oleander*. Là, pour moi du moins, la cause de ces apparences variées est évidente. De très-fines et très-courtes papilles disposées les unes contre les autres en échiquier, donnent, selon le point de vue, des lignes horizontales ou verticales, ou encore diagonales; soit de gauche à droite, soit de droite à gauche. Je n'ai pas eu la satisfaction de voir les papilles dans les autres vaisseaux; mais tant qu'on ne proposera pas une meilleure solution du fait, j'inclinerai à croire que les lignes horizontales, verticales et diagonales des cellules, des utricules courtes et allongées, et des vaisseaux, sont dues à la présence d'une multitude de papilles imperceptibles disposées en échiquier. J'ai ajouté les lignes diagonales, parce que, bien qu'elles soient moins communes, elles se montrent assez fréquemment sur les parois des vaisseaux qui commencent à vieillir, et elles sont même beaucoup plus apparentes que les autres.

Souvent, depuis le cambium celluleux jusques et y compris

les cellules à parois minces, sèches et striées, la substance végétale n'est qu'un seul et même tissu de transition parfaitement continu, dont la forme est modifiée plus ou moins par l'action successive de la végétation. Au delà, un changement remarquable s'opère : les cloisons cellulaires, jusqu'alors indivises, se dédoublent d'elles-mêmes aux points de rencontre des angles des cellules contiguës, et donnent naissance à des espaces ordinairement triangulaires que les phytologistes nomment des méats. Voici donc, dans la masse du tissu cellulaire, de nombreuses interruptions de continuité, et le dédoublement des cloisons ne s'arrête pas là. Il gagne de proche en proche dans leur épaisseur, de sorte que, en définitive, il sépare les cellules les unes des autres. Cette dislocation faite, il n'existe plus de tissu cellulaire. Chaque cellule est devenue une utricule distincte, laquelle s'étend et s'arrondit si elle est libre dans l'espace, ou devient polyédrique si elle est arrêtée dans sa croissance par la résistance des utricules voisines. Il est vrai que souvent toutes ces utricules juxtaposées restent unies par une sorte de collage, si je puis ainsi dire ; mais il ne paraît pas que jamais il s'établisse entre elles une véritable liaison organique. Ce sont autant d'individus vivants, jouissant chacun de la propriété de croître, de se multiplier, de se modifier dans de certaines limites, travaillant en commun à l'édification de la plante, dont ils deviennent eux-mêmes les matériaux constituants. La plante est donc un être collectif.

Les deux états organiques que je viens de signaler, l'un, tissu cellulaire continu, l'autre, agglomération d'utricules séparées ou bien réunies par juxtaposition, marquent deux périodes distinctes dans les formations utriculaires.

Veut-on des preuves à l'appui de ces généralités ? Que l'on fasse des séries non interrompues de coupes transversales d'une racine de Dattier, sur des portions en voie de passer de la première jeunesse à l'âge adulte, et qu'avec une infatigable attention on soumette, dans l'ordre où elles ont été faites, toutes ces coupes à l'observation microscopique, les examinant chacune à plusieurs reprises, les comparant entre elles, et s'appliquant à rétablir par la pensée le lien organique qui les unissait, pour refaire un seul tout de tous les faits partiels : à ces conditions, on obtiendra les résultats que j'ai obtenus et que je livre au jugement des phytologistes. Je doute que tout autre procédé plus facile et plus prompt m'eût conduit aussi sûrement au but.

On remarquera que la racine du Dattier se compose de trois régions organiques bien distinctes : la *périphérique*, l'*intermédiaire* et la *centrale ;* que la région périphérique, à l'époque de végétation que j'ai indiquée, est séparée de la région intermédiaire par une épaisse couche de cambium ; qu'une couche toute semblable isole de même, l'une de l'autre, les régions intermédiaire et centrale, et que, indépendamment des deux couches de cambium, il existe dans chaque région, de petits foyers particuliers d'utriculisation. Voyons ce qui résulte de la présence de ces dépôts plus ou moins abondants de matière organisatrice.

Il est évident que la région périphérique, exposée sans trêve à la nuisible influence des agents extérieurs, et chassée en avant par l'accroissement des parties intérieures, ne doit pas tarder à disparaître, si ces pertes journalières ne sont promptement réparées par l'avénement de nouvelles utricules issues de la partie de la couche de cambium placée immédia-

tement en arrière d'elle. Ce secours est d'autant plus nécessaire que les foyers particuliers d'utriculisation sont à peu près nuls dans la région périphérique. Aussi arrive-t-il que lorsque la couche de cambium vient à manquer, cette portion de la racine se trouve réduite à deux ou trois feuillets d'utricules souvent déchirés et privés de vie.

Passons à la région intermédiaire. Dans sa partie moyenne habitent les utricules les plus âgées. Les autres utricules sont d'autant plus éloignées de cette partie moyenne, et par conséquent plus rapprochées de l'une ou de l'autre couche de cambium qui, toutes deux, chacune de son côté, marquent l'extrême limite de la région, qu'elles sont d'un âge moins avancé. Il ne s'agit pas de l'âge mesuré par le temps écoulé depuis la naissance des utricules jusqu'au moment de l'observation : tout moyen manque pour en déterminer la durée absolue. Il s'agit de l'âge que j'appellerai *physiologique,* c'est-à-dire, du nombre plus ou moins grand de modifications successives que les utricules ont subies. Or, il est facile de s'en rendre un compte exact, sinon dans tous les cas, du moins dans celui-ci. Quant à l'explication du fait en lui-même, elle est très-simple : les deux couches de cambium travaillent en même temps à l'accroissement de la région intermédiaire, l'une par sa partie qui regarde la circonférence, l'autre par sa partie qui regarde le centre, de telle sorte que, des deux côtés, les utricules dernières formées sont en général les plus éloignées de la ligne médiane vers laquelle se pressent les vieilles utricules.

Au premier aperçu de cette disposition, on serait bien tenté de croire à l'existence de deux courants marchant à l'encontre l'un de l'autre et finissant par se confondre. Mais

l'observation attentive et réfléchie démontre que, s'il est vrai que différents dépôts de cambium peuvent produire des utricules dans des directions opposées, il ne l'est pas moins qu'un mouvement centrifuge, unique, irrésistible, entraîne ensemble dans la même voie, et les dépôts de cambium et toutes les utricules. Il n'y a donc en effet qu'un seul courant. Plus loin, j'appellerai de nouveau l'attention sur cet important phénomène qui a lieu également dans les trois régions. Je reviens à ce qui est particulier à la région intermédiaire.

On observe dans cette région, où dominent en majeure partie les utricules issues des deux couches de cambium, un grand nombre de petits dépôts de cette matière, lesquels, sans qu'on puisse en démêler la cause, ont des destinées très-diverses. Les uns remplissent les utricules, les autres les interstices qu'elles laissent entre elles, et que l'on désigne sous le nom de méats.

Le cambium contenu dans les utricules n'est bien distinct que lorsqu'il a revêtu la forme d'un tissu cellulaire mucilagineux. Il s'évanouit quelquefois peu après son apparition, et ne laisse nulle trace de son existence éphémère. D'autres fois ses cellules se séparent et s'égrènent en sphérioles qui n'ont aussi qu'une courte durée. D'autres fois encore, une des cellules grandit seule et semble appelée à devenir la doublure de l'utricule qui la contient; mais, arrêtée tout à coup dans son développement, elle se flétrit et se ramasse avec son cambium, en une masse amorphe de couleur de rouille, qui se maintient quelque temps dans cet état et finit par disparaître.

Le cambium qui se loge dans les méats de la couche intermédiaire, n'est pas moins abondant que celui qui se loge

dans les utricules elles-mêmes : il se distribue çà et là en petits amas ou en longs filets. Dans le premier cas, la substance organisatrice passe si vite à l'état utriculaire, qu'il est impossible de constater les changements qu'elle subit avant d'y arriver. Les nouvelles utricules se distinguent tout d'abord des anciennes : elles sont plus petites, et leur paroi, au lieu de paraître une pellicule sèche et ferme, semble une matière gélatiniforme amincie en lame. Mais en vieillissant, ces utricules se fortifient, grandissent, se font place parmi les autres et se confondent avec elles. Dans le second cas, je veux dire lorsque le cambium, sous forme de filet, parcourt longitudinalement la région intermédiaire, la série presque entière des modifications et métamorphoses passe sous l'œil de l'observateur. Tout compte fait, il voit succéder à un cambium mamelonné, dans l'ordre où je vais les indiquer, un tissu cellulaire mucilagineux, un tissu cellulaire à parois couvertes de papilles, un tissu cellulaire à parois sèches, minces et finement striées, puis, un tissu composé de longues utricules distinctes, mais unies les unes aux autres. Et alors de nouvelles utricules s'emboîtent dans celles-ci, qui deviennent, par ce renfort, doubles, triples, quadruples, quintuples, etc. ; et des pertuis ouverts à travers les parois font communiquer entre elles toutes les cavités utriculaires. Tel est le mode de formation de ces longs filets ligneux que les phytologistes ont remarqués dans la racine du Dattier, et dont les analogues se représentent dans le stipe et les feuilles.

La couche de cambium placée entre la région périphérique et la région intermédiaire, ne dure qu'un temps. On ne la retrouve plus dans les portions de la racine qui ont acquis une certaine consistance. Alors, entre les parois des utricules

limitrophes de l'une et de l'autre région, naissent çà et là des utricules qui, venant à se multiplier, se joignent et enferment, comme dans un fourreau, la région intermédiaire. Ces utricules sont tubulaires, polyèdres, ajustées bout à bout. De simples qu'elles étaient d'abord, elles deviennent complexes par l'adjonction de nouvelles utricules nées dans leurs cavités et qui communiquent ensemble par des pertuis. Elles ont donc la plus grande analogie avec les utricules des filets ligneux éparses dans la région intermédiaire.

J'arrive à la région centrale. Dans sa première jeunesse, elle est séparée de la région intermédiaire par une couche de cambium qui, comme l'autre, sert à deux fins. On a vu qu'elle fournit des utricules à la région intermédiaire; on peut s'assurer qu'elle en fournit aussi et en plus grande quantité, à la région centrale. En effet, si l'on porte les yeux sur une coupe transversale enlevée avec dextérité en temps et place convenables, on retrouve à point nommé la série des métamorphoses, qui, dans une direction, conduit à l'origine des utricules, et, dans la direction contraire, au terme de leur développement. Il est de toute évidence que la plupart de ces utricules sont sorties de la grande couche de cambium, les unes plus tôt, les autres plus tard, et que, selon leur âge plus ou moins avancé, elles se sont cantonnées plus près ou plus loin du centre. Au centre donc sont les utricules de première formation. Leur forme est cylindrique; elles tiennent très-faiblement les unes aux autres par les points de contact. L'âge de la région dont elles font partie indique qu'elles sont encore en pleine végétation. Pour modification finale, elles passeront bientôt de l'état simple à l'état complexe. Ce changement opéré, elles se porteront en avant,

ainsi que je l'expliquerai plus tard. Les autres utricules composent un tissu continu, d'autant plus jeune qu'il est plus éloigné du centre. Les plus voisines de la région intermédiaire ne sont, à bien dire, qu'un cambium celluleux.

A cette époque de la végétation, l'œil, aidé du microscope, ne saurait confondre la masse du tissu cellulaire de la région centrale avec celle de la région intermédiaire. Il est même assez facile de dessiner les caractères distinctifs des deux régions dans un moment donné. Mais entreprendre d'en observer, comparer et décrire toutes les modifications, serait une tentative vaine; l'action incessante de la puissance végétative les fait varier à l'infini.

Plus tard, une membrane celluleuse n'ayant partout qu'une utricule d'épaisseur, s'organise entre la région centrale et la région intermédiaire. Elle pose une limite précise à celle-ci, et, par conséquent, elle marque la place où l'autre commence. Ce que je vais dire de cette membrane ne se rapportera qu'à ce qu'on peut en voir sur des coupes transversales. Elle s'y dessine en ceinture. Au moment où elle apparaît, ses utricules, prises une à une, n'offrent rien de particulier, et pourtant toutes ensemble attirent l'attention. C'est qu'elles affectent une forme déterminée, toutes étant à peu près carrées ou parallélogrammes; qu'elles sont environ d'égale grandeur, et qu'elles tiennent les unes aux autres côte à côte, en série concentrique; tandis que les utricules de la région intermédiaire ne gardent aucun ordre symétrique, varient sensiblement dans leurs dimensions, et diffèrent plus ou moins par leurs formes.

En avançant en âge, les utricules de la ceinture se remplissent de cambium qui ne tarde pas à devenir un tissu cellulaire,

irrégulier dans toutes, différent dans chacune. Toujours rangées en cercle, elles prennent plus d'ampleur, et chacune d'elles se développe en hémicycle. Le diamètre des hémicycles s'appuie contre la région intermédiaire. La portion demi-circulaire de ces mêmes hémicycles regarde l'intérieur de la région centrale. Pendant que les utricules se modifient ainsi, le tissu cellulaire qu'elles contiennent s'agence suivant un ordre symétrique et presque uniforme. Voici en quoi il consiste : au point central de chaque hémicycle, il y a une cellule, copie en miniature de l'utricule qui la contient. De la face externe de cette cellule partent, comme des rayons divergents, des cloisons verticales, lesquelles vont s'attacher sur la face interne demi-circulaire de la paroi de la grande utricule. Il s'ensuit que la cavité de celle-ci est divisée en un certain nombre de loges contiguës, dont souvent, sur les coupes transversales, les cloisons figurent des quadrilatères plus ou moins réguliers, ou des triangles à peu près isocèles. Le tout ensemble imite, à faire illusion, une étroite dentelle festonnée. Par l'effet de la vieillesse, ce dessin symétrique s'altère sans néanmoins s'effacer totalement. Il y a cela de particulier dans les modifications successives des utricules de la ceinture, qu'elles sont si subites que l'observateur le plus diligent n'en saurait suivre les progrès ; tout ce qu'il peut faire est de saisir au passage quelques-unes de ces modifications.

La multiplication par emboîtement des utricules de la région centrale, ou, ce qui est la même chose, la transformation de ses utricules simples en utricules complexes, commence à peu de distance du centre, et gagne de proche en proche jusqu'à la ceinture de la région. Ce phénomène, l'un des plus curieux de l'organogénie végétale, s'opère dans chaque cavité

utriculaire, au moyen de dépôts successifs de cambium, lesquels n'ont qu'une courte existence, mais produisent, avant de disparaître, un petit nombre d'utricules destinées souvent à vivre des siècles. J'expliquerai tout à l'heure comment s'opèrent ces formations.

De petits, moyens et grands vaisseaux parcourent la région centrale dans sa longueur. Ces vaisseaux forment, par leur rapprochement, des lames plus ou moins continues, lesquelles, en général, se disposent selon la direction des rayons. Les petits vaisseaux s'adossent contre les utricules les plus voisines de la ceinture; les moyens viennent ensuite et ne s'éloignent guère des petits; les grands se rapprochent du centre et souvent finissent par s'isoler les uns des autres. Tous, petits, moyens et grands, sont des tubes polyèdres dont les facettes, ouvertes par des fentes transversales, représentent tant bien que mal de petites échelles. De là le nom de *vaisseaux scalariformes,* qui leur a été donné par les Allemands. Chacune des lames vasculaires est séparée de ses deux voisines par une épaisse masse d'utricules qui s'étend jusqu'à la ceinture de la région. Durant le cours de la végétation, le cambium afflue surtout vers la partie moyenne de la masse; il enveloppe et remplit ses utricules. La surabondance de la matière organisatrice rend d'abord la vision si confuse, qu'aucune particularité ne s'offre que l'on puisse nommer ou décrire; mais, à l'aide du temps, la matière revêt des formes organiques distinctes. Des utricules, jointes précédemment, se séparent et se retirent les unes à droite, les autres à gauche, et, tandis que ces deux mouvements contraires s'exécutent, un tissu cellulaire mucilagineux, à cloisons toutes couvertes de papilles, vient occuper l'espace abandonné par les anciennes utricules.

Le nouveau tissu s'élargit en lame irrégulière, et de même que les lames composées de vaisseaux scalariformes, il se projette vers le centre. Les jeunes cellules qui le constituent diffèrent de forme, de grandeur et de position. Les unes sont très-petites ; elles se dessinent souvent sur la coupe transversale en polygones à cinq ou six côtés, et sont rassemblées en groupe tout contre la ceinture, contre laquelle aussi s'appuient, à peu de distance de là, les petits vaisseaux scalariformes. Les autres cellules, grandes ou moyennes, affectent des formes variées et se rangent à la suite des petites, dans la direction des rayons. Plusieurs phytologistes ont avancé que ces lames cellulaires étaient composées de laticifères. Ils n'ont cité, que je sache, aucun fait à l'appui de leur opinion. Sitôt que je l'ai connue, je l'ai jugée peu fondée, et, quand je l'ai soumise à un examen sérieux, je l'ai trouvée en contradiction manifeste avec les résultats de mes recherches. Au lieu de vaisseaux ramifiés communiquant entre eux par des anastomoses, et contenant un suc coloré qui charrie des granules, je n'ai vu que de simples cellules allongées, dépourvues de suc comparable au latex. J'ai pensé dès lors que la lame cellulaire, dont le tissu est si transparent et si délicat, ne pouvait être autre chose que la première ébauche d'une nouvelle lame vasculaire. Je ne me suis pas trompé ; j'ai été témoin de la transformation graduelle des utricules en petits, moyens et grands vaisseaux scalariformes. Mes dessins, exécutés avec la plus scrupuleuse exactitude, confirment cette assertion.

Chaque nouvelle lame venant à s'allonger, partage en deux la masse utriculaire au milieu de laquelle elle a pris naissance; et, pendant que ce travail s'achève, il se forme dans chaque moitié de la masse, un dépôt de cambium qui devient

bientôt une lame utriculaire, laquelle, à son tour, se change en une lame vasculaire. Ces formations et transformations, si promptes dans la jeunesse qu'on a peine à les suivre, si lentes dans la vieillesse qu'on les cherche longtemps avant de pouvoir en constater la réalité, se répètent toujours semblables à elles-mêmes, tant que la racine a la puissance de reproduire du cambium. C'est pourquoi les lames cellulaires s'offrent presque toujours égales en nombre aux lames vasculaires, quel que soit d'ailleurs l'âge de la racine.

Il est reconnu depuis longtemps que la prodigieuse multiplication des germes est la meilleure garantie de la conservation des races. Cette vieille vérité est si évidente, qu'elle est devenue un sujet banal d'amplification. Pour exciter plus vivement l'intérêt par un contraste, on s'est complu à dire que la Nature se montrait peu soucieuse du sort des individus; et pourtant c'est encore à l'aide d'une production qui n'a, en quelque sorte, pas de limites, qu'elle assure l'existence temporaire et le complet développement d'un grand nombre d'entre eux. L'histoire entière du cambium dépose en faveur de cette assertion. J'en fais particulièrement la remarque à l'occasion des grands vaisseaux de la racine du Dattier. L'exemple est des plus instructifs : à lui seul il suffit pour mettre sur la voie d'une judicieuse interprétation de tous les faits analogues.

De même que les utricules dont j'ai parlé plus haut, ces grands vaisseaux, qui, à dire vrai, ne sont que des séries d'utricules ajustées et soudées bout à bout, passent de l'état simple à l'état complexe. Pour constater comment ce changement s'opère, il faut exercer une surveillance active sur ces grands vaisseaux quand ils sont encore dans leur première

jeunesse. Alors leurs parois sont d'une notable minceur, et elles enferment un cambium creusé, dans toute sa masse, d'une multitude de très-petites cellules closes, parfaitement semblables à celles que j'ai signalées soit dans les deux couches de cambium qui séparent les trois régions de la racine, soit dans les amas de cette matière organisatrice qui remplissent les longs méats de la région intermédiaire. Peu plus tard, vers le centre de chacun de ces vaisseaux, et, par conséquent, vers le milieu de la masse celluleuse, une cellule *s'individualise;* je veux dire se fait une paroi qui n'appartient qu'à elle, se développe dans une parfaite indépendance des autres, jouit d'une vie qui lui est propre; en un mot, devient une utricule distincte. Cette utricule ne tarde pas à grandir en tout sens, et ne s'arrête dans sa croissance que lorsqu'elle rencontre la paroi du grand vaisseau, sur laquelle elle applique sa propre paroi, et dont, par conséquent, elle augmente l'épaisseur. Sans doute on demandera ce que devient, dans ces conjonctures, le cambium celluleux qui remplissait d'abord toute la capacité du vaisseau. A cette question, je répondrai que le cambium celluleux, refoulé vers la circonférence du vaisseau et résorbé par les parties voisines, disparaît; semblable, sous ce rapport, à cette foule d'embryons qui, appelés à concourir au maintien des races, se trouvent la plupart incapables de soutenir la concurrence, et périssent presque aussitôt que nés.

Cependant, pour l'achèvement du vaisseau, il ne suffit point d'une seule utricule. Viennent à la suite de celle-ci une seconde, une troisième, une quatrième, peut-être même une cinquième utricule et plus, qui s'emboîtent successivement les unes dans les autres. Il m'importait de constater les pro-

grès de ces formations successives : je ne les ai pas perdues de vue. Afin qu'on s'en fasse une juste idée, je vais remonter encore à l'origine de la première utricule, non pour répéter ce que j'ai déjà dit, mais pour le compléter.

A sa naissance, la première utricule se montre au milieu du cambium celluleux contenu dans les grands vaisseaux, comme un globule d'une extrême petitesse. En examinant avec une certaine force d'attention, sous un puissant microscope, cette création nouvelle, on est tenté de croire qu'elle contient un mucilage criblé de points creux. Ceci n'est d'abord qu'un soupçon; mais ce soupçon se confirme peu après. L'utricule, quoique très-petite encore, a déjà triplé ou quadruplé son diamètre; il devient de toute évidence qu'elle renferme un cambium celluleux, véritable miniature de celui qui remplit les vaisseaux. A mesure que cette première utricule grandit, les cellules de son cambium grandissent aussi, et, dans ce cambium, se développe une seconde utricule toute semblable à la première, et qui se comporte absolument comme elle. Une troisième utricule, engendrée par le cambium de la seconde, a le même sort, et ainsi des autres, s'il en survient. Je ne m'étendrai pas davantage sur cet admirable phénomène : les faits parlent d'eux-mêmes. Tout le monde comprendra comment s'opère dans les grands vaisseaux (j'ajouterai dans les petits vaisseaux et les utricules, y compris *l'enveloppe pollinifère*) cette stratification de couches membraneuses qui fortifie leurs parois, et est en même temps la cause efficiente de l'extinction d'une innombrable quantité de germes (1).

(1) Voyez la note 1 qui vient à la suite de ce Mémoire.

Les exemples que je viens de citer de la disparition de toute la portion du cambium celluleux resté sans emploi immédiat, n'autorise pas à conclure que les éléments de cette matière organisatrice soient perdus sans retour pour le végétal. Au contraire, l'ensemble des faits tend à prouver que cet abondant et précieux résidu, élaboré derechef et devenu soluble par l'effet de procédés chimiques qui nous sont inconnus, se rend où l'appellent les besoins de la végétation, et sert à la fois à la création de nouvelles utricules et à la nutrition des anciennes : tant il est vrai, comme l'avait conçu le puissant génie de Buffon, que la nutrition et la génération sont deux modes du même phénomène.

L'accroissement de la racine est la conséquence immédiate de la formation du cambium. Si, après avoir exposé la cause, je n'essayais d'expliquer l'effet, ces notes seraient par trop insuffisantes. Ce n'est pas que je veuille disserter longuement sur la manière de croître des racines. Je me bornerai à la plus brève exposition de ce que j'ai observé dans le Dattier; et même, pour ce qui a rapport à l'allongement, je m'en référerai à un passage de mes premières notes, publiées en 1837 dans le *Compte rendu* (1). Quant à l'épaississement, je n'en ai dit qu'un mot, à l'occasion de la zone intermédiaire; mais j'ai pris l'engagement d'y revenir : il est temps que je tienne parole.

L'expérience m'a appris que le moyen le plus sûr d'éclairer le phénomène de l'accroissement, était de se mettre en quête des divers gisements du cambium, et de l'épier dans toutes

(1) Voyez la note 2.

les phases de ses développements. Les parties jeunes de la racine en sont très-largement pourvues. Il se montre aussi, mais en moindre abondance, dans les parties les plus vieilles. On a vu qu'à certaines époques il forme deux couches, l'une entre la région périphérique et la région intermédiaire, l'autre entre la région intermédiaire et la région centrale; que, dans cette dernière, il s'avance vers le centre en lames convergentes; que souvent il envahit les cavités utriculaires ou vasculaires; qu'il se loge dans les méats et se glisse jusqu'entre les utricules; qu'enfin il n'existe pas de partie si dure et si compacte qu'elle puisse lui fermer tout accès. Or, le cambium, qu'est-ce autre chose que la substance organisatrice? et puisque cette substance se présente partout, ne faut-il pas aussi qu'il y ait partout production de nouvelles utricules, accroissement des anciennes, et par conséquent augmentation dans tous les points du corps vivant? L'observation prouve ce que démontre le raisonnement. Les utricules doivent être considérées comme formant en commun, depuis le centre jusqu'à la circonférence, une multitude de cercles, ou plutôt de couches concentriques plus ou moins régulières. Chaque couche, par l'addition d'utricules dont le nombre et la puissance amplifiante sont à la fois en rapport avec la position qu'elle occupe et l'accroissement général de la racine, s'élargit et s'éloigne du centre, de telle sorte qu'elle ne cesse pas un moment d'être en contact avec les autres couches. Toutes ensemble donc se portent en avant, et ce mouvement centrifuge est assez ferme pour que, dans maintes circonstances, les couches mortes ou vives de la région périphérique ne pouvant se distendre, se rompent. Jusque-là, exclusivement, tout s'exécute sous l'empire des forces vitales; là

seulement on reconnaît, à n'en pouvoir douter, l'œuvre d'une force mécanique. Il est bien entendu qu'à mesure que le corps de la racine empiète sur l'espace environnant, de nouvelles utricules naissent au centre, et y remplissent la place abandonnée par les anciennes.

Ici se terminent mes notes. Si, par impossible, les faits principaux qu'elles renferment ne se trouvaient que dans le Dattier, force serait sans doute de reconnaître que ce végétal offre une exception des plus étonnantes. Si au contraire (ce qui ne me surprendrait pas) ces faits se reproduisaient pour la plupart dans la généralité des racines des monocotylés, il faudrait convenir que non-seulement ils sont de nature à exciter la curiosité, mais aussi qu'ils ont une certaine importance. Enfin, si un ou plusieurs de ces faits se rencontraient dans divers organes appartenant à des espèces prises sans choix parmi les phanérogames et les cryptogames, il semble qu'on ne pourrait se refuser à les accepter, comme l'expression de lois générales. Ces considérations, qui se sont présentées fréquemment à mon esprit durant le cours de mes recherches, soulèvent, ce me semble, des questions d'un haut intérêt pour les progrès de la science. Ne peut-on pas se flatter qu'à cette époque si féconde en découvertes physiologiques, leur solution ne saurait guère se faire attendre?

NOTES.

NOTE I.

Voici ce que j'écrivais en 1835 :

« Quand les tubes corticaux ou *vaisseaux du latex*, comme M. Schultz « s'exprime, sont très-jeunes, l'emboîtement n'existe pas encore; chaque « tube est simple; son calibre est rempli d'une matière liquide transpa- « rente; sa paroi est extrêmement mince, mais elle ne tarde pas à s'épais- « sir. Puis ensuite, la matière, qui est assurément du cambium, se condense, « éprouve un retrait du centre du tube vers sa circonférence et se méta- « morphose en membrane, de sorte qu'un nouveau calibre s'ouvre plus « étroit que le premier. Alors il y a deux tubes au lieu d'un, et comme « la matière liquide se renouvelle bientôt, un troisième tube se forme, « et peut-être un quatrième. On dirait des tubes jetés en moule les uns « dans les autres. Pour assister à ces créations, il faut s'y prendre de « bonne heure, avoir l'œil au guet et s'armer de patience. J'ai pu les « observer avec suite, dans le laurier rose (*Nerium oleander*). Des coupes « de l'écorce et du bois du *Convolvulus nervosus* m'ont offert aussi des « tubes inscrits les uns dans les autres, qui, en plusieurs endroits, ne se « touchaient pas. Il était donc impossible de nier que ces tubes fussent « distincts. Les utricules ligneuses de ce même *Convolvulus* se doublent, « se triplent, se quadruplent par des formations intérieures qui se dépo- « sent successivement. Tout cela ressemble à ce qui se passe dans la for- « mation du pollen. Le rapprochement est trop instructif pour que je le « signale sans le justifier. Je choisis, pour exemple, le potiron (*Cucurbita « pepo*). Voici la succession des faits :

« 1° Une utricule faisant partie de l'anthère, est partagée intérieurement « en quatre loges, lesquelles sont remplies d'une matière liquide. La por- « tion de la matière qui avoisine la paroi de l'utricule prend dans chaque

« loge plus de consistance, et finit par devenir une utricule bien distincte.

« 2° Le résidu liquide qui remplit l'utricule nouvellement formée s'é-« paissit à son tour au voisinage de la paroi, et devient aussi une utricule.

« 3° La matière liquide n'étant pas épuisée par la production des deux « utricules, parce que cette matière se régénère incessamment et qu'elle « abonde en raison de l'amplitude croissante de la cavité qui la renferme, « il se forme une troisième utricule recouverte par les deux autres.

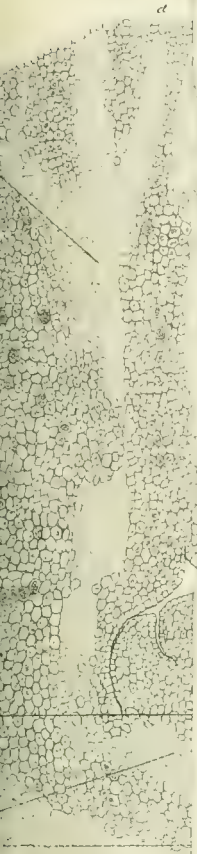
« Là s'arrêtent les formations, quoiqu'il y ait encore de la matière li-« quide dans la troisième utricule. Cette matière liquide, jointe à des « granules qui y nagent, et les trois utricules superposées entre elles, « constituent le grain de pollen. Mais ce n'est pas de ce grain, considéré « dans son ensemble, que je veux parler; ce que j'en dois dire trouvera « place autre part. Il ne s'agit ici que de constater l'origine des trois « utricules qui entrent dans sa composition. Cette origine n'a rien qui « s'écarte de la loi commune. La matière liquide s'épaississant et de-« venant une utricule, se régénérant et donnant naissance à une seconde « utricule, puis à une troisième utricule, qu'est-ce autre chose que du « cambium? Les phénomènes s'accomplissent précisément comme dans « une utricule ligneuse du *convolvulus nervosus*, ou dans un tube de mar-« ronnier d'Inde et de laurier rose. Ce sont tous ensemble des actes uni-« formes de la *nutrition*, dont la *fécondation* elle-même n'est qu'un mode « particulier. » (Voyez *Cours complet d'agriculture*, tome septième, page 338, publié en 1835.)

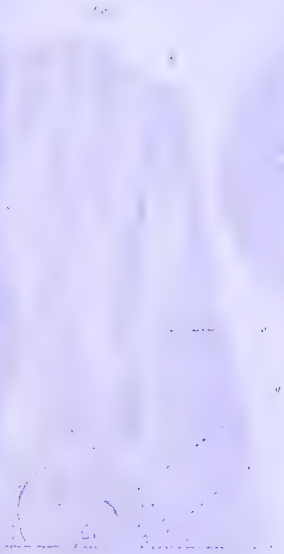
NOTE II.

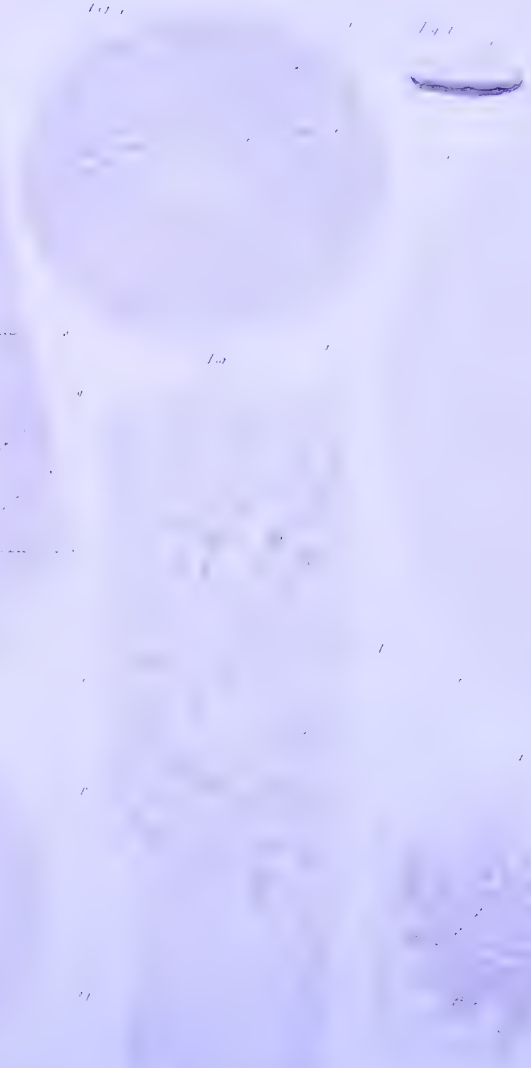
« Les observations que je vais rapporter feront connaître le rôle que « joue ce mucilage celluleux (il s'agit du *cambium*) dans plusieurs modifi-« cations très-curieuses du tissu organique..... Je l'ai observé autrefois « dans la tige de grands végétaux. Je l'ai retrouvé mieux caractérisé, en « 1834, dans la région centrale de plusieurs racines (racines du *Pinus* « *pinæa*, du *Salisburia asplenifolia*, du *Juglans nigra*, du *Phœnix dacty-*« *lifera*). L'aspect mucilagineux du tissu et les très-petites cellules allongées « dont il était composé, m'avertissaient que sa formation était assez ré-« cente, et cependant ce n'était plus, à proprement parler, du *cambium*

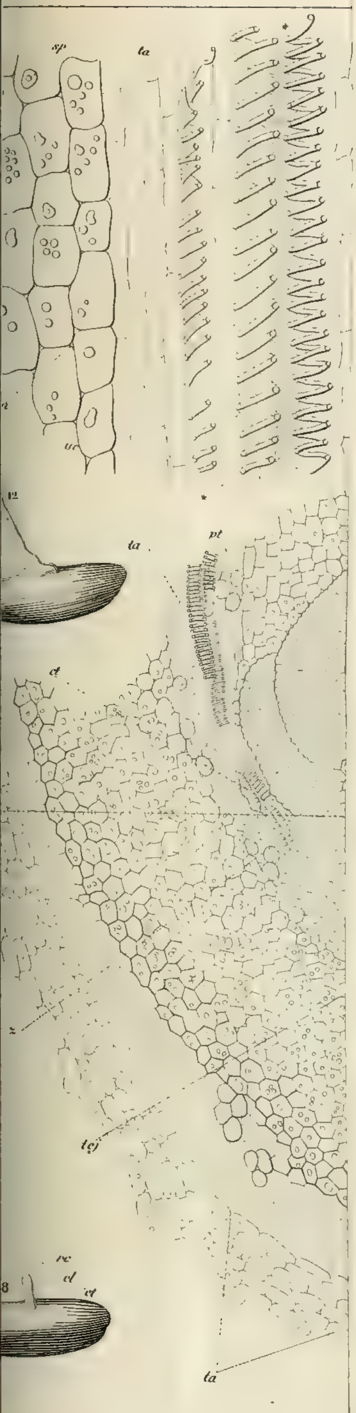
« Bientôt, par l'effet de la végétation, les cellules de ce tissu, placées bout « à bout, et formant plusieurs séries distinctes autour du centre, s'ac- « crurent en longueur et largeur, à partir de la base de la racine jusque « vers son sommet. J'entends par la base, la partie la plus voisine du collet, « et par le sommet, l'extrémité inférieure. L'accroissement de toutes les « cellules de chaque série ne se fit pas instantanément, mais successive- « ment. Les cellules voisines du collet, qui étaient les plus vieilles, s'allon- « gèrent et s'élargirent les premières; puis ce phénomène se manifesta de « proche en proche, jusqu'à une certaine distance de l'extrémité de la ra- « cine, et quelle qu'ait été la croissance de ces séries de cellules, cette dis- « tance s'est maintenue à peu près la même. La raison en est simple : à « mesure que les cellules des séries se portaient en avant en prenant plus « de longueur, il naissait entre elles et le fond du *cœcum*, formé par la « partie de l'écorce qui termine la racine, une nouvelle génération de cel- « lules globuleuses qui chassait devant elle cette partie de l'écorce.

« Je remarquerai, à ce sujet, que la spongiole décrite par M. de Candolle, « comme étant un organe particulier au moyen duquel la racine absorbe- « rait les fluides répandus dans le sol, n'est autre, à mon sens, malgré la « forme mamillaire et l'embonpoint qu'elle offre assez souvent à l'extré- « mité des radicelles de l'année précédente, que l'analogue du *cœcum* corti- « cal que je viens d'indiquer. Ce *cœcum*, ainsi que le reste de la jeune écorce « de la racine, se dégrade incessamment à l'extérieur par la dislocation et « la destruction du vieux tissu, et se régénère intérieurement, avec non « moins d'activité, par l'adjonction de nouvelles utricules. » (*Voyez* Compte rendu des séances de l'Académie des sciences, pages 296 et 297, 27 août 1837.)









sp
ta
12
ta
pt
cl
z
tej
re
cl
8
ta

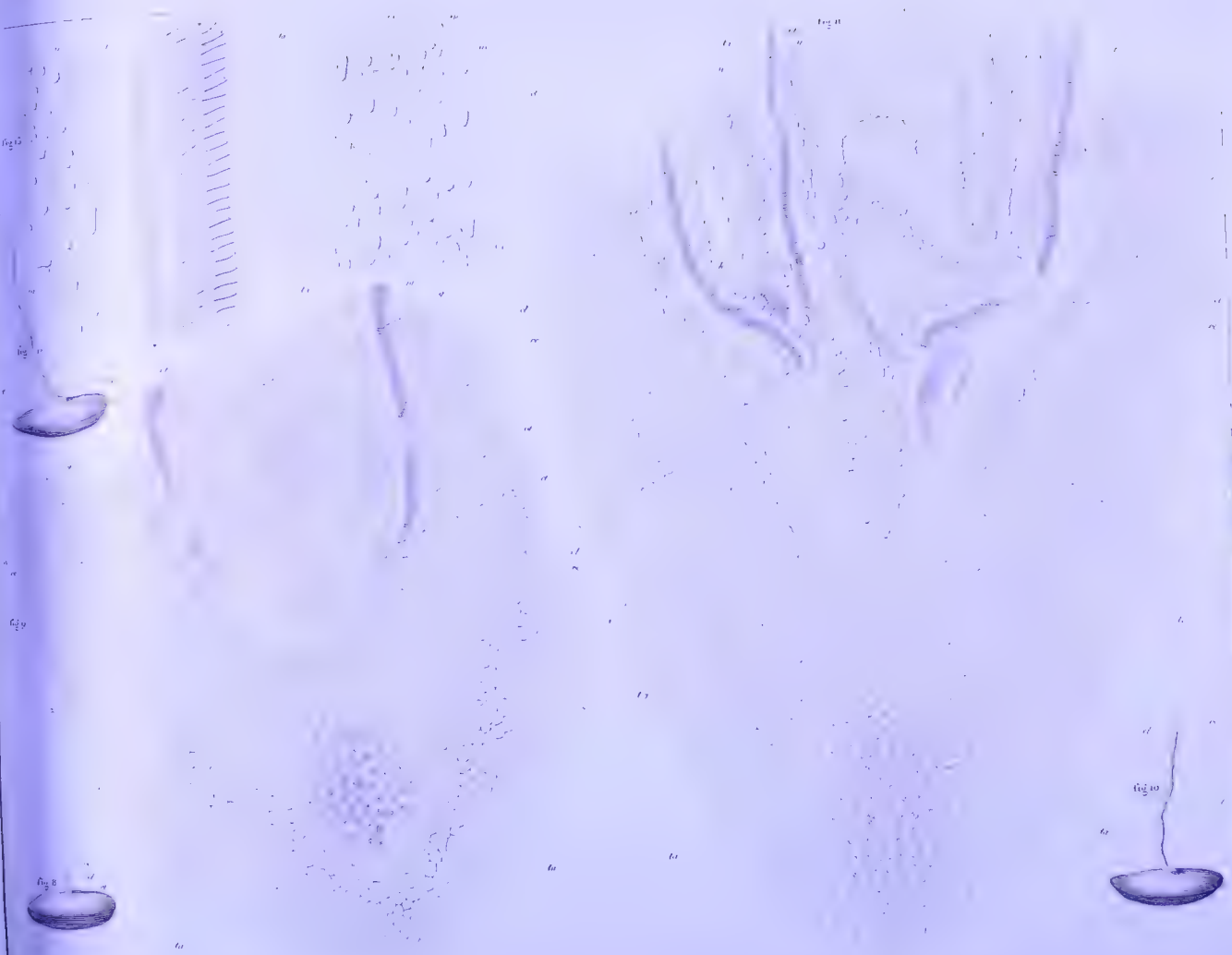
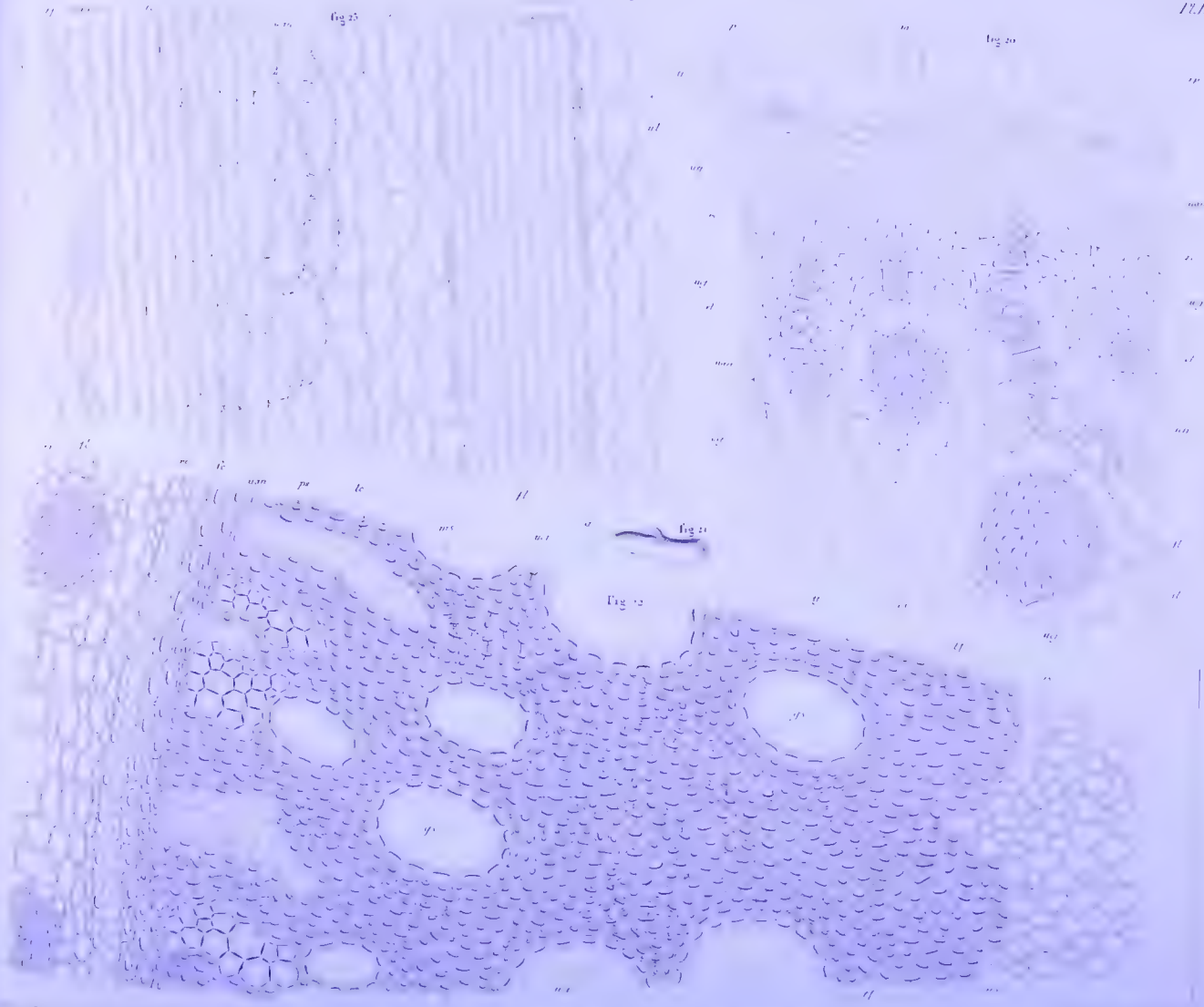


fig. 19

fig 10
fig 15
fig 16
fig 17

rp
tf
uan
ri
fl



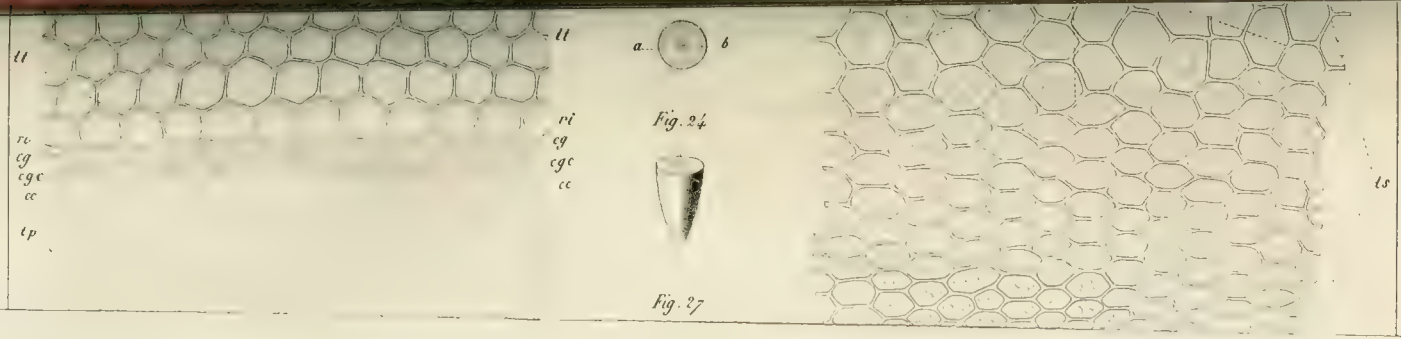
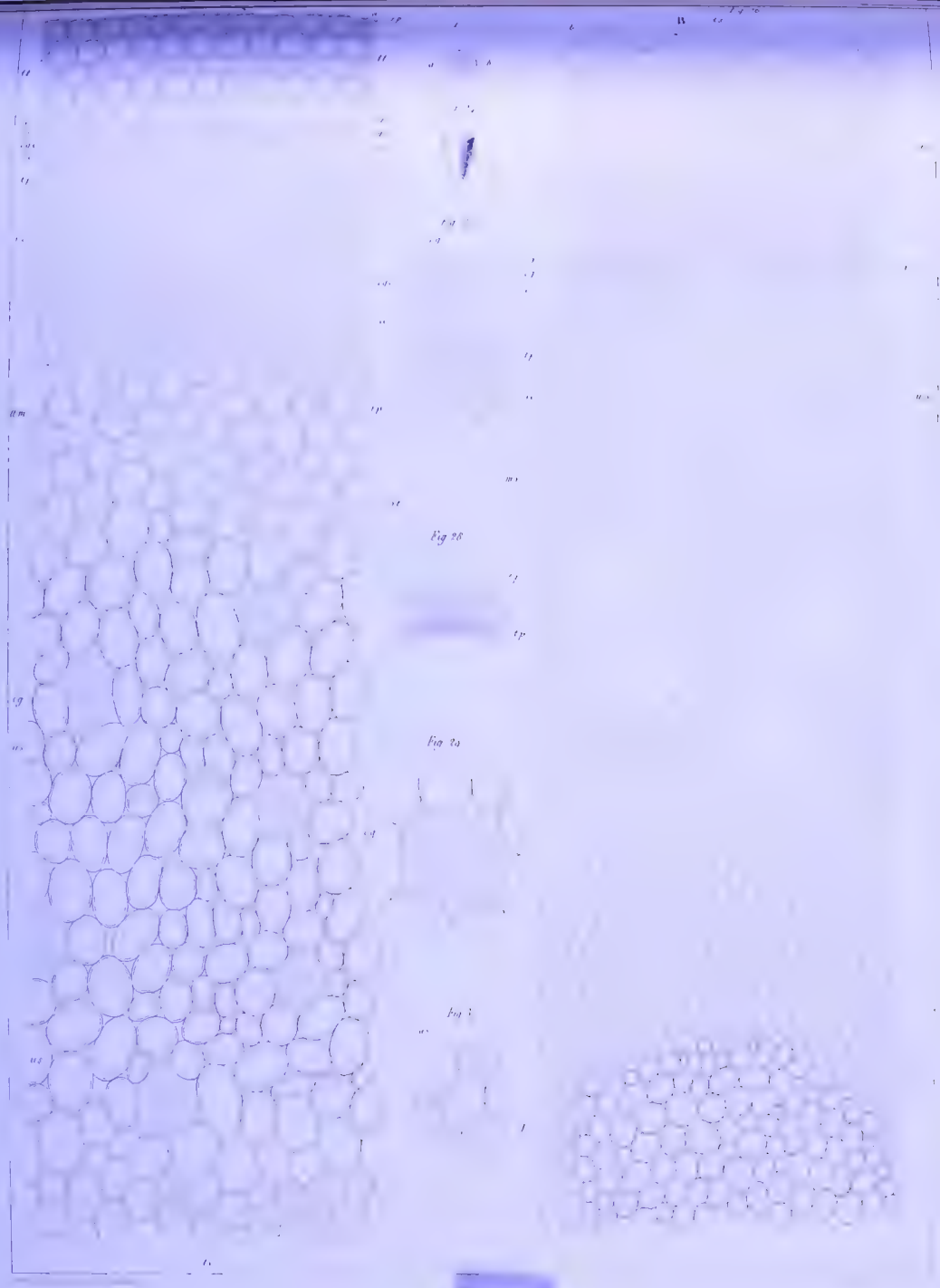


Fig. 24

Fig. 27



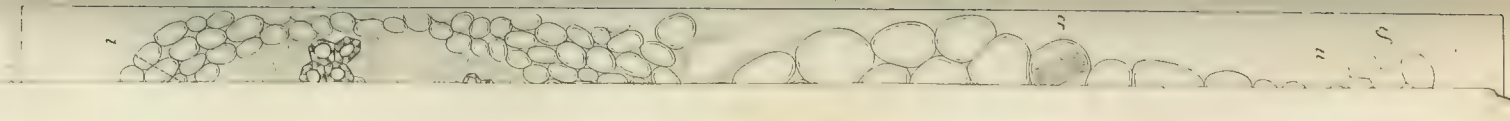
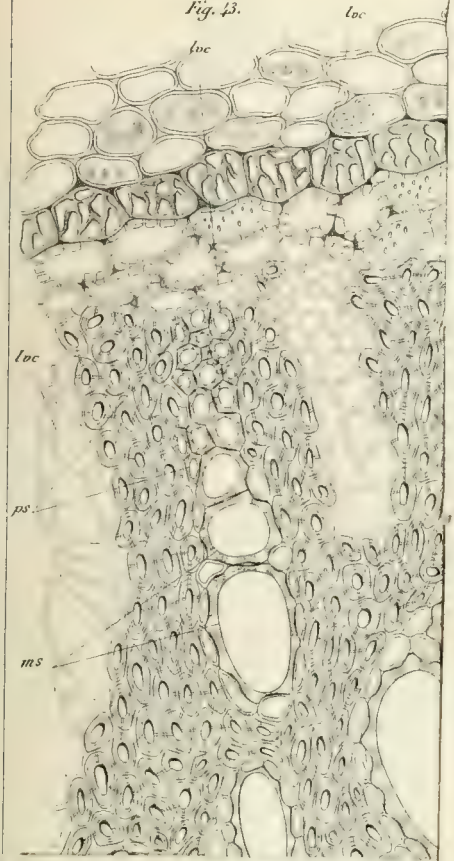
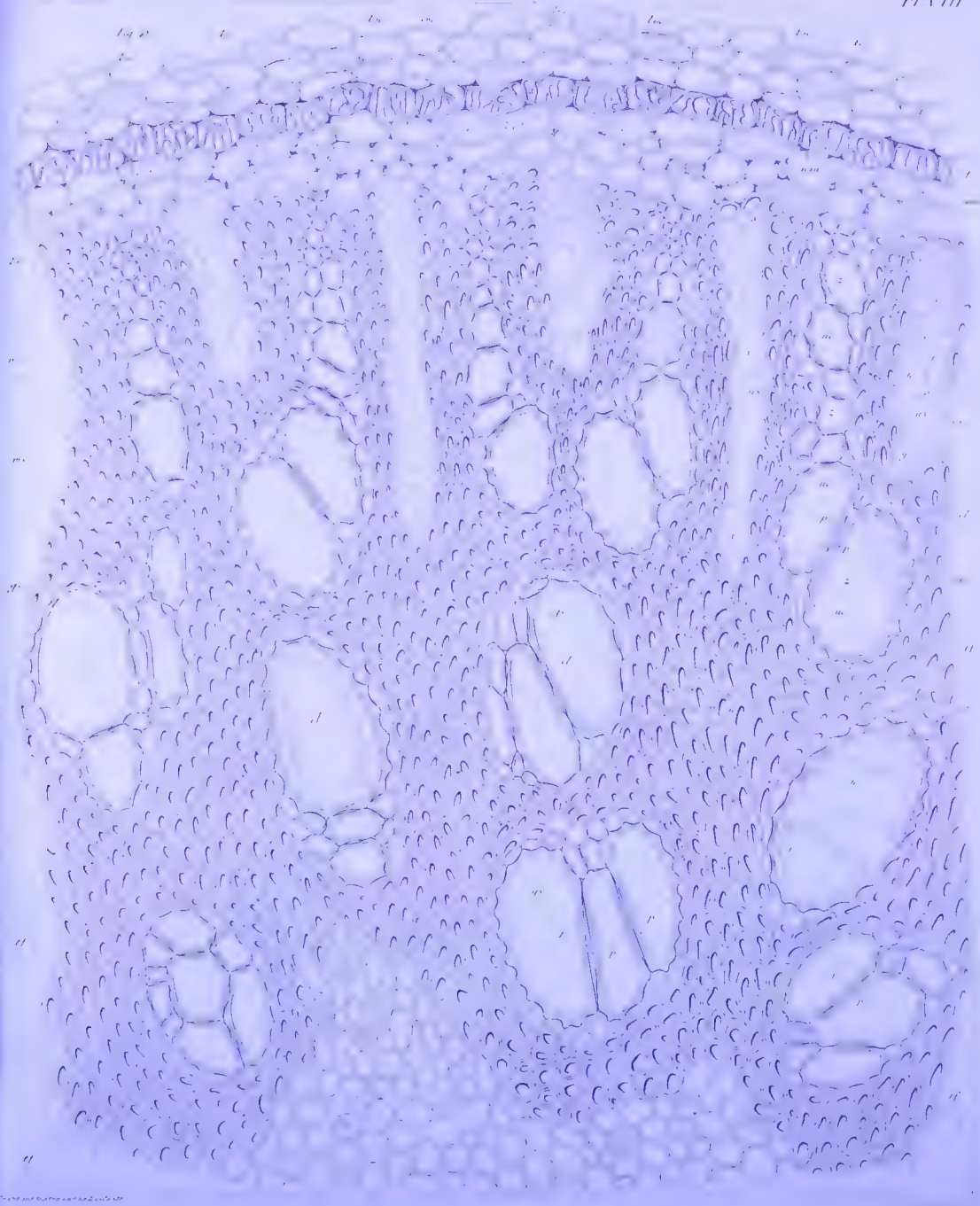


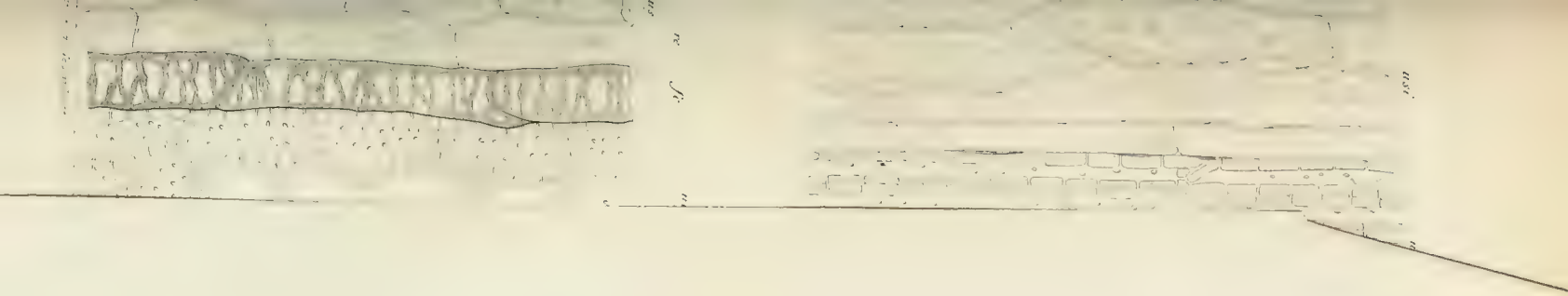
Fig. 43.



Phœnix Dactylifera

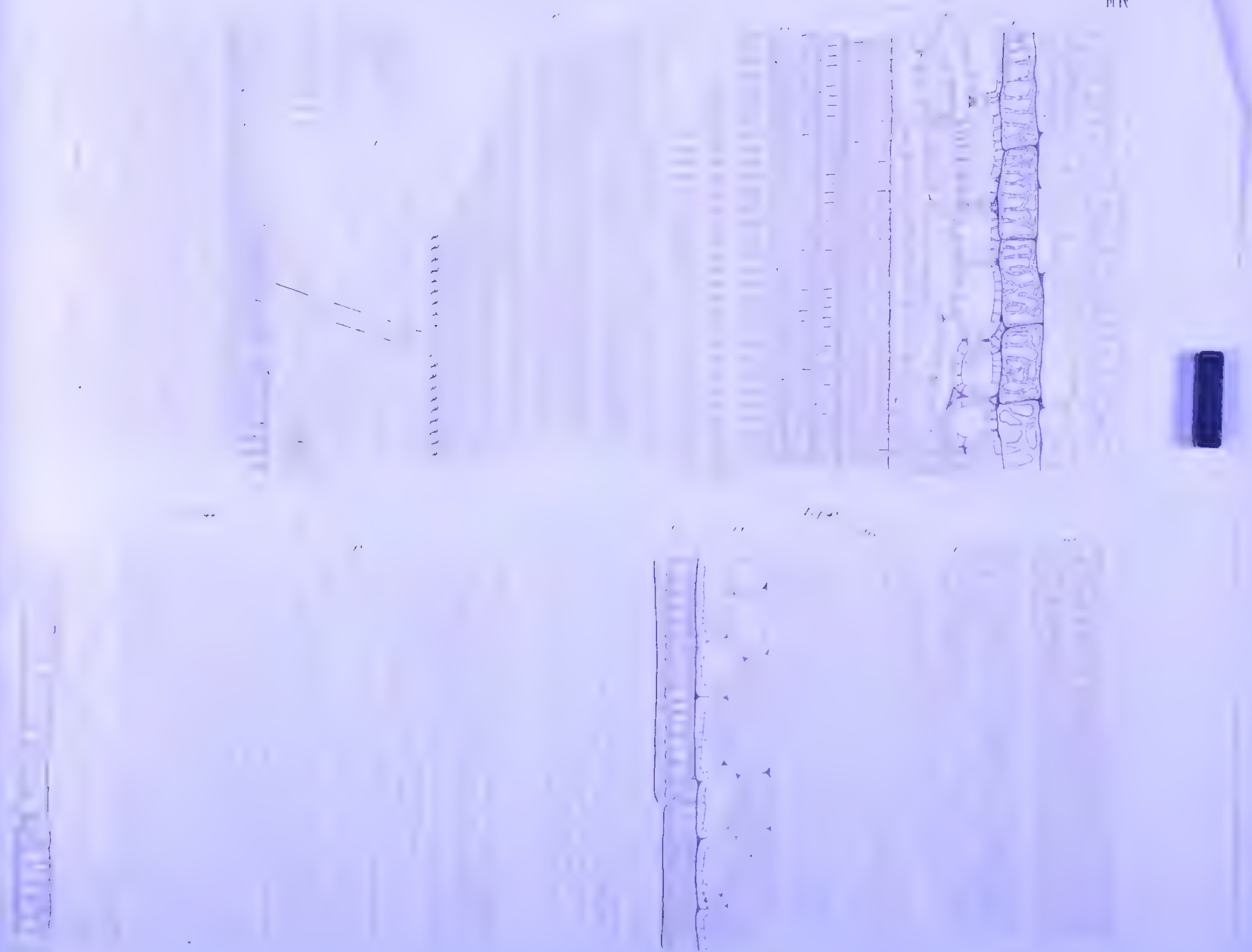
PL VIII





Phoenix Dactylifera

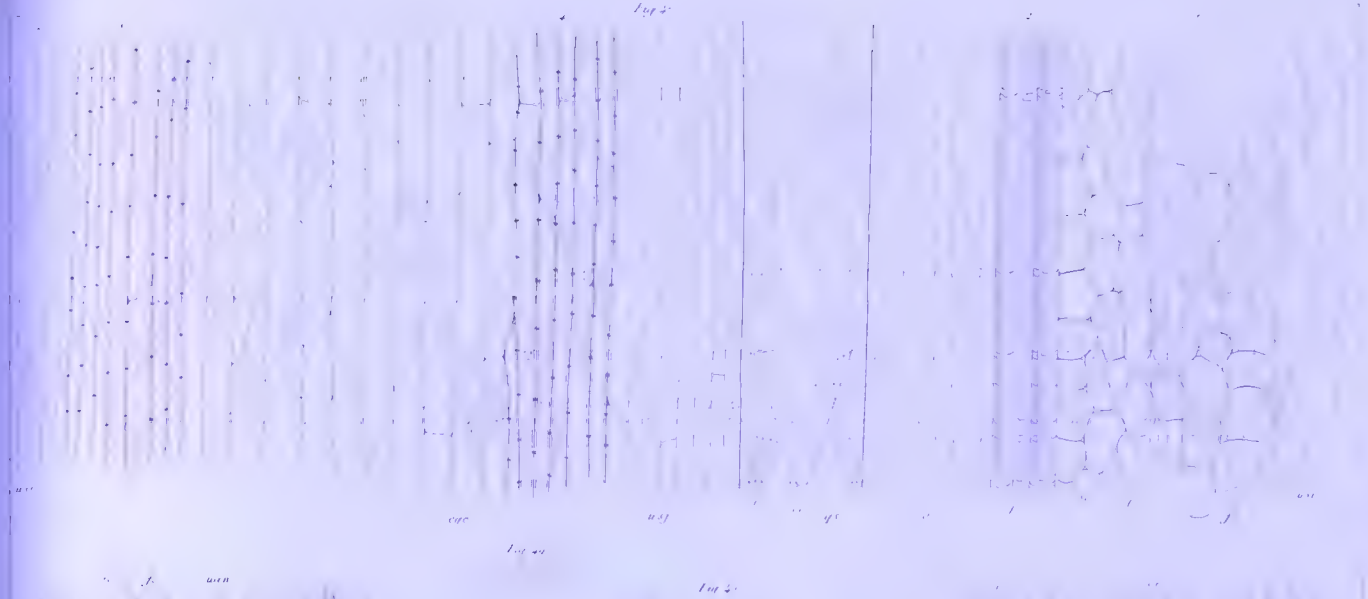
Pl. IX



rt

Phœnix Dactylifera

PL. 7



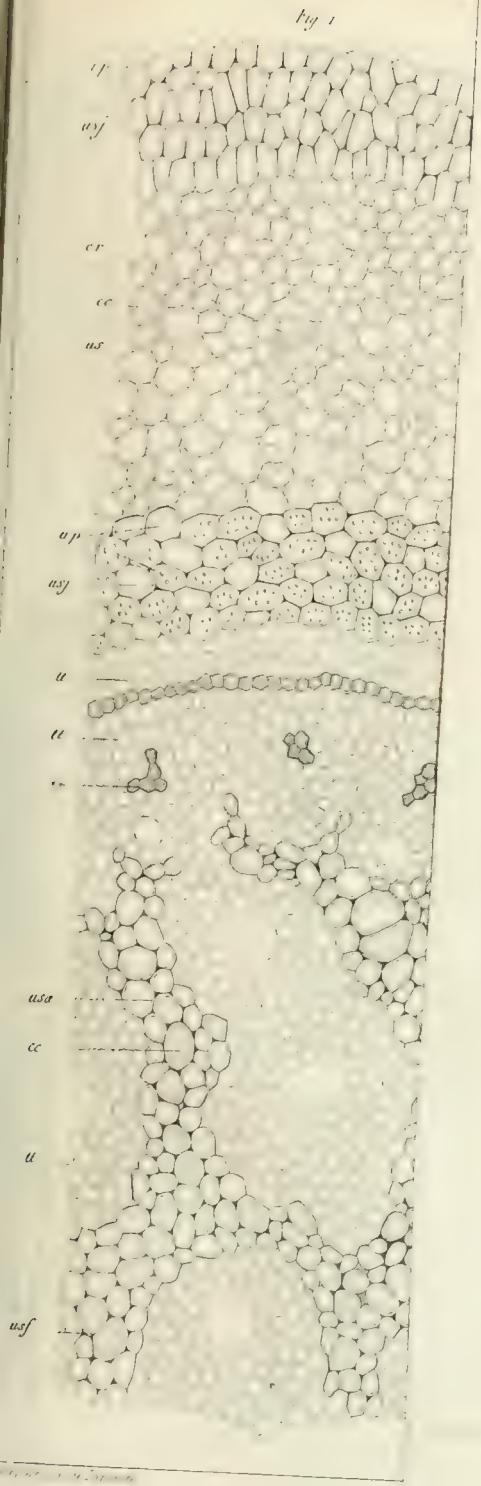
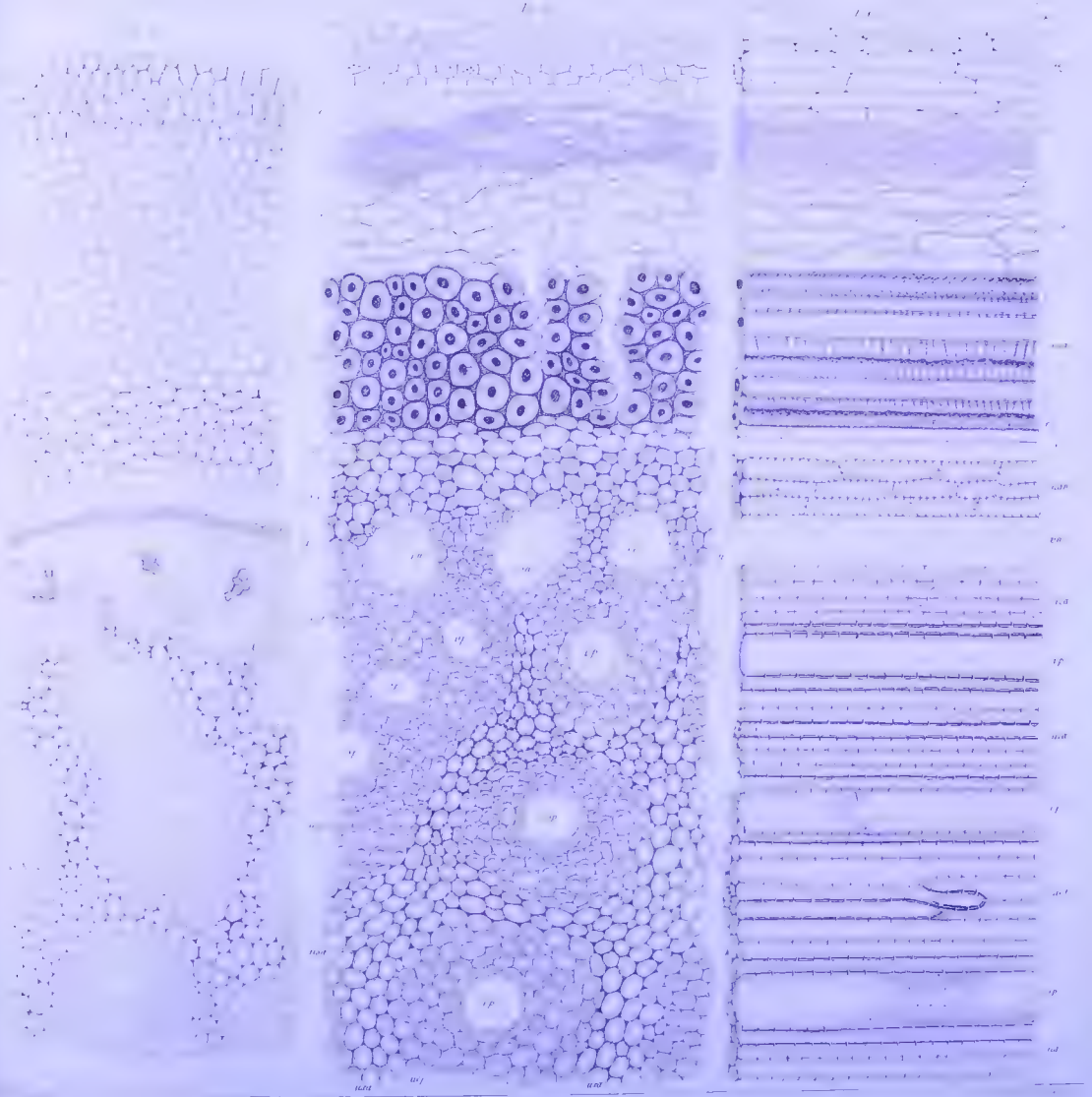
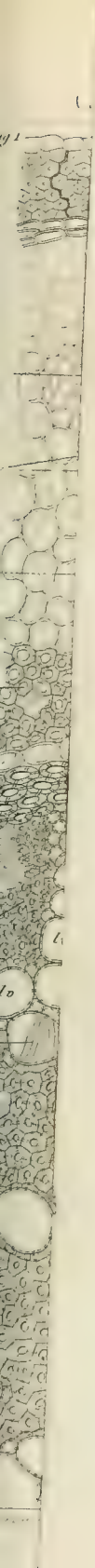
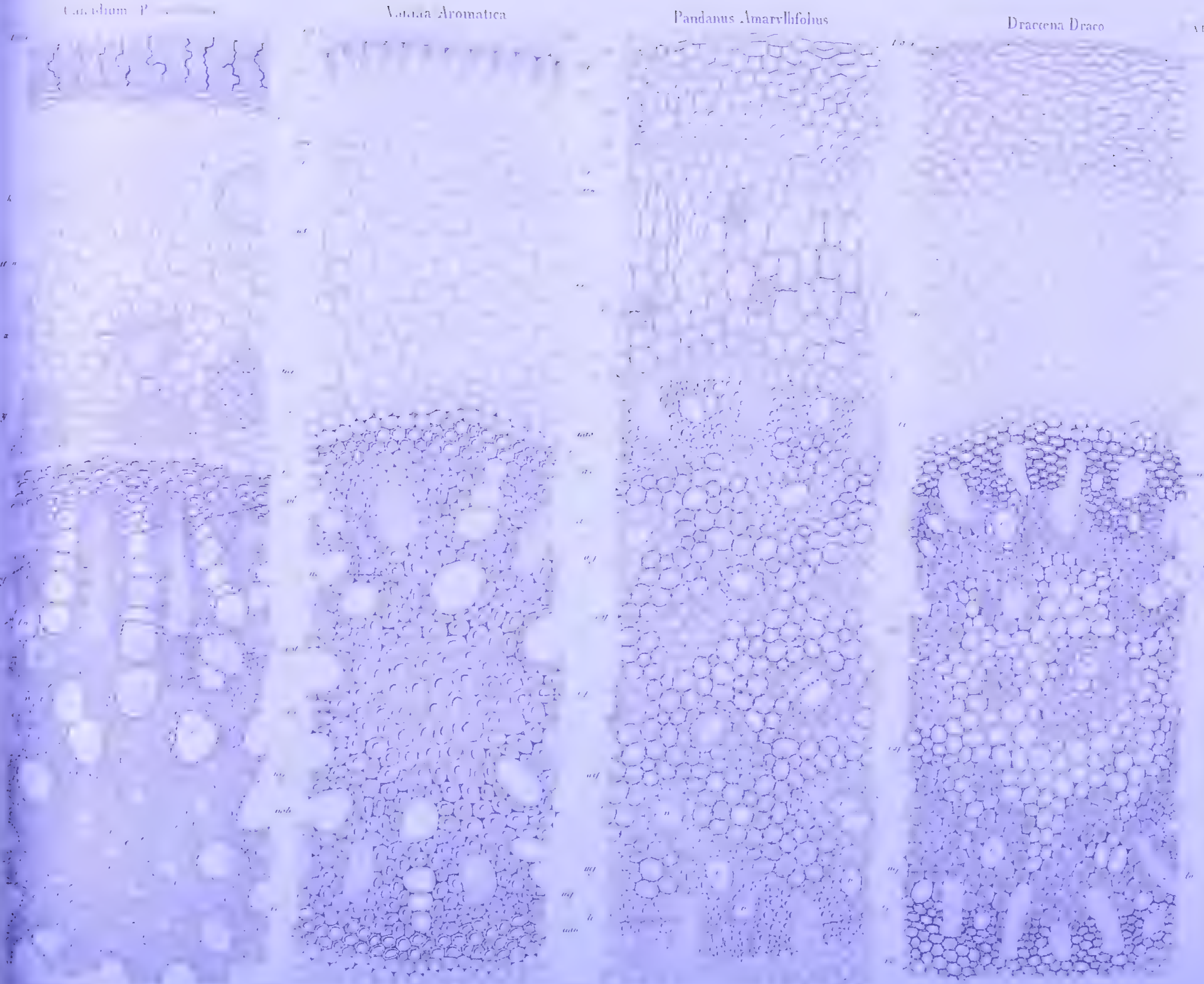


fig 1
ep
usf
cr
cc
us
up
usf
u
tt
usa
cc
u
usf






Aromatica
Pandanus Amaryllifolius
Draccena Draco

SIGNIFICATION DES LETTRES

QUI SERVENT DE GUIDES DANS L'EXAMEN DES FIGURES.

c Cambium, matière amorphe, d'apparence mucilagineuse, qui commence l'organisme végétal.

cg Cambium globuleux. Cette forme globuleuse n'est qu'une illusion d'optique, ainsi que je l'ai démontré dans mes notes sur le cambium.

cgc Cambium globulo-cellulaire. C'est une masse de cambium, dans laquelle de petites cellules commencent à se former.

cc Cambium celluleux. La forme globulaire a disparu; l'apparence mucilagineuse subsiste; les cloisons des cellules ont une épaisseur notable.

cm Cambium mort. Cambium flétri, desséché, se montrant souvent dans l'intérieur des utricules sous l'aspect d'une petite masse irrégulière de cire jaune.

t Tissu cellulaire. Tissu comparable, quant à la forme et la transparence, à la mousse de l'eau de savon.

tn Tissu naissant.

tt Tissu de transition. On peut dire, généralement parlant, que le tissu cellulaire végétal est dans un état de transition, puisqu'il se transforme presque toujours en autant d'utricules qu'il offre de cellules.

tf Tissu fixé. C'est un tissu cellulaire qui, par suite de causes plus ou

moins appréciables, se maintient en état de tissu, sans jamais se séparer en utricules.

tc Tissu composé de cellules courtes.

tcj Tissu composé de cellules courtes et jeunes.

ta Tissu composé de cellules allongées.

ts Tissu cellulaire à cloisons sèches et minces.

tci Tissu cellulaire interposé. C'est un tissu parfaitement continu, qui, dans chacune de ses cellules, enferme une utricule simple ou complexe.

tp Tissu cellulaire très-jeune, à parois chargées de papilles.

tst Tissu dont les parois cellulaires sont marquées de stries, soit horizontales, soit longitudinales.

tat Taches transitoires. Taches qui se montrent là où il doit s'ouvrir des pertuis, des fentes, etc., et qui disparaissent au moment où ces ouvertures se forment.

taf Taches fixées. On les remarque sur des utricules simples, qui se maintiennent closes jusqu'à leur extrême vieillesse.

us Utricules simples. Cette qualification convient aux utricules qui ne sont point complexes (voyez ci-après *ucl*).

usa Utricules simples allongées.

uca Utricules complexes allongées.

ucl Utricules complexes, ligneuses. Utricules dans la cavité desquelles il s'en forme une, deux, trois, quatre et plus, qui s'emboîtent étroitement les unes dans les autres, et accroissent la masse de la substance ligneuse.

ucr Utricules complexes de forme régulière.

usi Utricules simples irrégulières.

uci Utricules complexes de forme irrégulière.

ucm Utricules complexes membraneuses. Ce sont des utricules complexes lâchement emboîtées les unes dans les autres, à parois minces, molles, et ne passant jamais à l'état ligneux. Il arrive souvent que les utricules incluses disparaissent par un effet de résorption.

uan Utricules anomales. Elles sont complexes, pertuisées, régulières ou irrégulières, tantôt groupées, tantôt isolées. On ne peut les confondre avec les utricules qui constituent le bois, quoiqu'elles acquièrent une certaine solidité. Il s'en faut que la généralité des végétaux en soit pourvue. Elles occupent des places différentes dans les différentes espèces. Souvent elles contiennent des résines.

udc Utricules demi-complexes. Elles sont complexes d'un côté, simples de l'autre (Voy. Vanille, pl. XII).

uar Utricules arrondies.

ul Utricules lenticulaires.

utb Utricules tubuliformes.

up Utricules pertuisées. Elles ont des pertuis plus ou moins grands.

ust Utricules striées. Elles sont marquées de lignes fines parallèles.

stt Stries transversales.

stl Stries longitudinales.

sto Stries obliques.

usj Utricules simples juxtaposées. Elles sont serrées les unes contre les autres, de manière à former des polyèdres, qui ne laissent entre eux aucun vide sensible.

ucj Utricules complexes juxtaposées.

uij Utricules incluses juxtaposées. Un petit groupe d'utricules juxtaposées remplit toute la capacité des grandes utricules.

ue Utricules emprisonnées. Ce sont des utricules logées une à une séparément dans les cavités d'un tissu cellulaire fixé.

l Lacune. On donne ce nom à des espaces vides, qui se forment par le déchirement des utricules ou par leur écartement.

m Méats. Espaces vides entre des utricules unies partiellement les unes aux autres.

sp Sphérioles. Petites utricules logées dans de plus grandes. Elles sont sujettes à être résorbées.

v Vaisseaux. Dernières modifications des utricules. Ce sont de longs tubes, tantôt clos, tantôt percés ou fendus, ou diversement découpés.

vn Vaisseaux naissants. Alors les vaisseaux ne sont que des cellules ou des utricules simples, closes, allongées, unies les unes aux autres bout à bout.

vp Vaisseaux pertuisés, c'est-à-dire, criblés de trous ou pertuis.

vr Vaisseaux réticulés. Leurs parois percées ressemblent à un réseau.

vf Vaisseaux fendus. On les dit fendus quand leurs fentes sont de grandeurs inégales et placées irrégulièrement.

vs Vaisseaux scalariformes. Ce sont des vaisseaux dont les fentes sont de grandeurs à peu près égales et disposées les unes au-dessus des autres, comme les barreaux d'une échelle ou comme des boutonnières. On distingue :

ps Petits scalariformes ;

ms Moyens scalariformes ;

gs Grands scalariformes.

lvc Lames vasculaires convergentes. C'est l'ensemble des vaisseaux scalariformes de la région centrale de la racine du Dattier, lesquels s'allongent dans des plans verticaux, qui s'étendent, en général, de la circonférence vers le centre.

vt Vaisseaux trachéens ou trachées. Ce sont de longs tubes découpés en hélice.

va Vaisseaux annelés. Ce sont des tubes composés d'anneaux superposés les uns aux autres.

vm Vaisseaux mixtes. Le même tube offre dans sa longueur plusieurs des modifications indiquées précédemment.

vcl Vaisseaux cloisonnés. Ces cloisons qui ne tardent pas à se rompre, mais dont il subsiste toujours des vestiges, rappellent l'origine utriculaire des vaisseaux.

vob Vaisseaux obstrués. Ce sont des vaisseaux dans l'intérieur desquels naissent des utricules de différentes formes et grandeurs.

fl Filets ligneux. Ce sont des faisceaux composés de séries d'utricules complexes, allongées, prismatiques, attachées les unes aux autres, bout à bout.

fv Filets vasculaires.

fuv Filets utriculo-vasculaires. Ils sont composés d'utricules et de vaisseaux.

fc Fourreau cannelé. Ce sont des utricules qui forment un fourreau autour de la région centrale de la racine du Dattier, et par conséquent la séparent de la région intermédiaire. Sur la coupe transversale, ce fourreau se dessine en ceinture festonnée.

pt Parois transversales.

po Parois obliques.

rp Région périsphérique de la racine.

ri Région intermédiaire.

rc Région centrale.

r Radicule. C'est la racine telle qu'elle se montre dans l'embryon.

rco Racine originelle. C'est la racine qui n'est autre que la radicule développée.

rca Racine auxiliaire, c'est-à-dire, racine qui prend naissance sur toute autre partie du végétal que celle d'où part la radicule.

g Gemmule, petit bourgeon de l'embryon.

cl Cloisons. La plupart des vaisseaux sont cloisonnés, même dans un âge très-avancé, ce qui rappelle leur origine utriculaire; mais il est rare que les cloisons soient entières.

ct Cotylédons.

co Collet.

f Feuilles.

cr Cristaux qu'on observe souvent dans l'intérieur des utricules.

ÉTUDES ANATOMIQUES

ET PHYSIOLOGIQUES

SUR LA RACINE DU *PHOENIX DACTYLIFERA* (DATTIER),

ET SUR CELLES DE CINQ AUTRES MONOCOTYLÉS,

SERVANT DE PIÈCES JUSTIFICATIVES A MES NOUVELLES NOTES SUR LE CAMBIUM.

J'ai commencé mes recherches sur la racine du Dattier dans l'embryon germant; je les ai poursuivies dans les racines auxiliaires, et ne me suis arrêté que lorsque ces dernières sont arrivées au terme de leur croissance.

Mais ce travail tout spécial ne m'a pas fait perdre de vue un seul moment l'étude des généralités, et j'espère que le lecteur ne trouvera pas hors de propos que je reproduise ici, dans une note, ce que j'ai écrit en 1829 et 1839 sur les premiers développements de la gemmule de l'embryon des monocotylés. S'il m'a suffi de l'examen de deux espèces, pour constater l'existence d'une loi générale, c'est que j'ai remonté, cette fois encore, jusqu'aux origines, seule voie sûre, à mon sens, pour éclairer l'organisme végétal (1).

(1) Le 24 novembre 1829, je lisais à l'Académie mon second mémoire sur l'ovule. On y trouve le passage suivant :

Je suivrai, dans l'exposition des faits, l'ordre méthodique que j'ai adopté dans leur recherche. Je commence donc par la radicule de l'embryon du Dattier.

« Quoique mon dessein ne soit pas de décrire maintenant les développements de l'embryon, je veux « consigner ici un fait qui prouve sans réplique que le corps cotylédonaire de *l'asparagus* et du *hyacin-* « *thus* est de même nature que le scutellum des graminées. Ce fait complétera mes anciennes obser- « vations sur les cotylédons des endogènes.

« Dans les premiers moments de son existence, le scutellum des graminées ne cache point la gemmule, « mais, plus tard, ses deux bords se rapprochent et se développent de telle sorte, que l'un recouvre « l'autre, sans que néanmoins il y ait adhérence entre eux.

« Dans les premiers moments de son existence, le corps cotylédonaire des autres endogènes, de « même que le scutellum des graminées, ne cache point la gemmule, mais plus tard ses bords se « joignent et s'entre-greffent si parfaitement qu'il ne subsiste pas même de traces de l'ancienne sépara- « tion. Ainsi *dans l'un et l'autre cas, la gemmule finit par être tout à fait recouverte*, et la seule dif- « férence gît dans le simple rapprochement ou bien dans la réunion organique des bords du corps « cotylédonaire. *Il n'y a pas là de quoi faire deux organes distincts.* »

Ce passage montre que je faisais bon marché, en 1829, de l'existence ou de la non-existence de la soudure des bords du cotylédon, à laquelle cependant je croyais encore. Mais, sur ce point, les très-nombreuses et très-exactes observations de M. Ad. de Jussieu m'ont converti. Il n'en a pas été de même touchant une question plus sérieuse. On va voir qu'en 1839 je n'étais pas plus disposé que dix ans auparavant, à faire de la feuille cotylédonaire ou scutellum des graminées, un *épiblaste*, avec Claude Richard, ou un *carnode*, avec Henri de Cassini, ou un organe anonyme, avec M. Ad. de Jussieu. En effet, voici comment je m'exprime dans l'exposé des recherches que nous avons publiées M. Spach et moi, sur l'embryogénie végétale :

« Il semble (dis-je) que tous les phytologistes qui se sont livrés depuis près d'un demi-siècle à « l'étude de l'embryogénie des graminées, aient pris à tâche de n'y trouver que des anomalies. En « étudiant de nouveau les faits sans préoccupation des anciennes idées, et en les comparant entre eux, « nous nous sommes convaincus que tous rentrent dans la loi générale. Les feuilles des graminées, « comme on sait, partent alternativement, et à des hauteurs différentes, de deux côtés opposés de la tige. « Or, les trois appendices ou processiles embryonaires, savoir : la feuille cotylédonaire déjà mention- « née, le lobule (*épiblaste*, Claude Richard), petite excroissance charnue et de forme variée, qui ne se « montre pas dans le maïs, mais qui est très-visible dans une multitude d'espèces de la famille, et la « feuille primordiale (*piléole*, Mirbel) qui, de même que la feuille cotylédonaire, ne manque jamais, « sont disposés sur l'axe précisément comme les feuilles, lesquelles ne font, à notre avis, que continuer « l'ordre symétrique existant dans l'embryon. Ceci démontre que les trois processiles embryonaires « sont les premières feuilles de la plante, modifiées par les circonstances qui ont accompagné leur « développement..... »

PLANCHE I.

Fig. 1. — Cette figure représente une graine de Dattier. Elle commence à germer. La pointe *a* de la radicule (*rc*) fait saillie en dehors.

Fig. 2. — Coupe longitudinale de l'embryon qui était contenu dans la graine, figure 1.

La partie inférieure (*rc*) appartient à la radicule. Un peu au-dessus, dans l'intérieur, on voit la gemmule (*g*). Le cotylédon (*ct*) constitue la majeure partie de la masse de l'embryon. Celui-ci est formé entièrement d'un tissu cellulaire (*tc*). J'appelle ainsi une réunion de cellules qui forment ensemble un tissu continu, et que nous ne peuvons diviser sans déchirement. La marche de la végétation modifie presque toujours cet état de choses. Les cellules se séparent d'elles-mêmes par dédoublement de leurs cloisons, et dès lors il n'y a plus de tissu cellulaire. Il est remplacé par des utricules distinctes les unes des autres. Je dois faire remarquer qu'il s'en faut que le tissu cellulaire soit partout semblable à lui-même. Il se montre sous un aspect et des formes diverses, selon son âge et sa position. Ainsi ces filets de tissu de cellules allongées (*ta*) qui, un peu plus tard, renfermeront, comme dans un fourreau, les tubes vasculaires, ne se confondent pas jusqu'à présent avec le tissu environnant, composé de cellules courtes (*tcv*) de formation plus ancienne, ni avec cet autre tissu de cellules courtes aussi (*tcj*), mais beaucoup plus récentes, qui, s'interposant entre la base de la gemmule (*g*) et la portion préexistante de la racine (*rc*), pousse celle-ci en avant.

Fig. 3. — Cette figure représente une coupe transversale de la radicule, faite dans le plan de la ligne ponctuée inférieure (*) de la figure 2.

Fig. 4. — Cette coupe, parallèle à la précédente, se confond avec le plan idéal qui a reçu le nom de collet (*cl*).

On retrouve, à son centre, sous un nouvel aspect, les cellules courtes

et transparentes, de très-nouvelle formation, que j'ai signalées dans la figure 2 (*tcj*).

Fig. 5. — Cette figure est un fragment grossi de la coupe que représente la figure 4.

Elle a été dessinée dans l'intention de faire voir les sphérioles (*sp*) qui sont logées dans les jeunes cellules.

Fig. 6. — Fragment grossi de la coupe figure 3.

Fig. 7. — Coupe transversale, faite sur un embryon un peu plus avancé que celui de la figure 1, à la hauteur de la gemmule qui, comme l'on sait, est le premier bourgeon de la plante, laquelle n'est encore qu'à l'état d'embryon. Le cotylédon (*ct*) entoure complétement la gemmule. Ses deux bords (**) sont appliqués l'un contre l'autre. On voit très-nettement la ligne de contact qui marque leurs limites respectives. La coupe des filets de tissu cellulaire allongé (*ta*) est très-visible dans le cotylédon. Ces filets sont rapprochés de sa surface interne et disposés circulairement. Des filets semblables (*ta*) se montrent dans la gaîne de la seconde feuille (2^{e} f.). La première feuille (1re f.) qui occupe le centre de la gemmule (*g*) n'est, à cet âge et à cette hauteur, qu'une masse de tissu cellulaire, dans laquelle on n'aperçoit encore aucune trace de filets de cellules allongées (*ta*).

PLANCHE II.

Fig. 8. — Graine de Dattier en germination. Le développement de l'embryon est un peu plus avancé que dans la graine représentée planche I, figure 1. On distingue nettement la radicule (*rc*), le collet (*cl*), le cotylédon (*ct*).

Fig. 9. — Toute la partie au-dessous de la ligne ponctuée (*cl*) appartient à la racine (*rc*). La partie supérieure à la ligne ponctuée se compose de la base du cotylédon (*ct*) et de la gemmule (*g*). Il s'ensuit que la ligne ponctuée indique *à peu près* la place du collet (*cl*), ce plan mathématique

qui sépare la partie descendante de la partie montante. En effet, la partie de l'organisme placée au-dessus de la ligne ponctuée tend à s'allonger vers le ciel, tandis que la partie placée au-dessous tend à s'allonger vers le centre de la terre. La cause physiologique de ce double phénomène est encore un mystère.

La région la plus excentrique de la racine est composée de plusieurs couches de tissu cellulaire allongé (*ta*), qui ont subi une altération sensible sous l'influence des agents extérieurs. L'extrême transparence de ces couches pourrait faire croire qu'elles sont très-jeunes ; mais leur excentricité ne permet pas de douter qu'elles ne soient plus âgées que le tissu qu'elles recouvrent. Il faut donc attribuer leur transparence à un état morbifique. En effet, elles se séparent les unes des autres, et bientôt se décomposent dans la terre qui les environne. Elles sont remplacées immédiatement par le tissu plus jeune qu'elles abritaient, et qui, plus tard, subira le même sort qu'elles. Ainsi, l'écorce de la racine se détruit et se renouvelle dans le sol, de même que l'écorce de la tige dans l'atmosphère. Cette remarque n'est pas seulement applicable à la racine du Dattier ; beaucoup d'autres exemples, pris dans les monocotylés et dicotylés, me portent à croire qu'elle convient à la généralité des plantes phanérogames.

Un tissu naissant, à cellules courtes (*tc*), semblable à celui de la figure 2, planche I, mais plus abondant, se comporte absolument comme l'autre, c'est-à-dire que ce tissu s'organise entre la base de la gemmule et la base de la racine, qu'il s'adjoint à cette dernière, l'épaissit, l'allonge et compense avec usure les pertes qu'elle éprouve, tant à son pourtour qu'à son extrémité.

Un fait digne d'attention, c'est que le cotylédon (*ct*) est déjà pourvu de vaisseaux (*vt*), lorsqu'à peine on en aperçoit des traces dans la racine. Ces vaisseaux ont été d'abord un tissu de cellules allongées (*ta*), ajustées bout à bout, comme celles qui les enveloppent. S'ils sont peu avancés (*z*) dans la racine, c'est que l'embryon du Dattier, à cette période de la germination, ne reçoit guère d'autre nourriture que celle que lui livre le cotylédon, qui la puise dans le périsperme. Il résulte de ce fait, qu'on ne saurait mettre en doute, que le cotylédon, pour satisfaire sa tendance à croître, ne retienne d'abord et ne s'assimile toute la nourriture dont il a besoin, et n'en laisse arriver à la racine que peu et tardivement. Quand le périsperme

est épuisé, le cotylédon se flétrit, et la racine, devenue adulte, tire de la terre, avec sa nourriture, celle qui est nécessaire aux premiers développements du stipe. Mais, comme l'a très-bien observé M. Poiteau, cette racine, que j'appellerai *originelle,* ne tarde pas à mourir. Elle est remplacée par des racines *auxiliaires* (*rca*).

Fig. 10. — La germination est sensiblement plus avancée ici que dans la figure 8. La racine (*rc*), encore très-petite parce que le cotylédon (*ct*) n'a pas encore atteint le terme de sa croissance, a pourtant fait des progrès qui sont très-apparents dans la figure 11.

Fig. 11. — Cette figure, exécutée d'après une coupe d'un embryon dont la germination était plus avancée que celle du précédent, caractérise mieux les faits que la figure 9. Les mêmes signes, les mêmes lettres indiquent les mêmes caractères; il n'y a donc pas nécessité que je me répète.

Il est bon cependant de noter quelques différences qui sont les résultats immédiats des progrès de la végétation. On voit en *k* le point de départ du cotylédon; en *y* la plus ancienne feuille de la gemmule, qui contient un faisceau vasculaire (*vt*) logé dans un étui d'utricules allongées (*ta*); en *x* un ou deux vaisseaux qui se dirigent obliquement de droite à gauche vers ce fragment de feuilles; en *z* des indices plus apparents de la transformation en vaisseaux de quelques utricules allongées (*ta*).

Fig. 12. — Germination plus avancée que la précédente.

Fig. 13. — Fragment d'une coupe longitudinale du cotylédon considérablement grossi.

A droite et à gauche est le vieux tissu composé d'utricules courtes (*uc*), irrégulières, avec des indices de méats (*m*). Ces utricules contiennent des sphérioles (*sp*) quelquefois doublées. Plus près de la partie intermédiaire du fragment (*ri*) sont également, à droite et à gauche, des cellules allongées réunies en tissu (*ta*); elles font partie du fourreau dans lequel sont logés les vaisseaux (*vt*) qui sont des trachées. Je rappellerai ici ce que j'ai dit ailleurs touchant le filet plus ou moins grêle qui forme, par ses circonvolutions, cette sorte de vaisseaux. Ce filet ne se présente pas toujours sous le même

aspect. Quelquefois il paraît cylindrique et solide; d'autres fois c'est une très-étroite et très-mince lame, et, dans le cas présent, c'est un tube capillaire. Ce tube et son calibre, grâce à la diaphanéité de la membrane, offrent, de l'un et de l'autre côté de chaque pas d'hélice, l'apparence d'un petit anneau (*). Avant moi, un illustre physiologiste, M. Purkinjé, avait fait des observations analogues dans ses belles recherches sur la structure du tissu des anthères. M. Mohl a émis une opinion qui diffère de la nôtre : il ne nie pas l'apparence, mais il rejette l'explication. Ce que nous prenons pour le creux du tube est, selon ce savant, une matière plus dense que celle qui constitue la paroi de ce tube.

Après avoir examiné les faits de nouveau, malgré tout mon respect pour un critique aussi éclairé que M. Mohl, je ne vois pas jusqu'ici de motifs suffisants pour revenir sur ce que j'ai dit.

PLANCHE III.

Fig. 14. — Germination plus avancée que dans la figure 12, planche II.

La radicule (*rc*) s'est accrue ainsi que le cotylédon (*ct*).

Fig. 15. — Coupe verticale de l'extrémité de la racine représentée figure 14.

La partie extérieure de cette racine se disloque plus sensiblement encore que dans les racines précédentes. Des séries d'utricules attachées bout à bout (*) se détachent et mettent à nu le tissu (*ta*) qu'elles recouvrent. Ce tissu, poussé en avant par de nouvelles générations de cellules nées au centre, arrive jusqu'à la circonférence. Là les cellules qui le constituent se séparant, passent à l'état d'utricules, et subissent les mêmes accidents que celles qui les ont devancées.

La région centrale de cette extrémité de la racine est composée entièrement d'un tissu de cellules allongées (*ta*), lesquelles, plus tard, par l'effet de la végétation, deviendront complexes, et donneront, par conséquent, une certaine solidité à la racine. Dans la partie supérieure de cette masse de

tissu, de grandes utricules simples (*us*), disposées en deux séries, nous montrent comment ici se forment les vaisseaux. Ces grandes utricules ont commencé comme les autres; puis elles se sont allongées; puis elles ont acquis de l'ampleur, et elles s'accroîtront encore; et, les cloisons qui séparent leurs cavités venant à se détruire en partie ou en totalité, elles prendront place parmi les vaisseaux. Si, dans une radicule toute semblable à celle que nous présente la figure 14, nous prolongions la coupe jusque vers le collet (*cl*), nul doute que nous ne rencontrassions, chemin faisant, les vaisseaux, sinon achevés, du moins fort avancés.

Fig. 16. — Les grandes utricules et les cellules allongées sont dessinées ici d'après un grossissement plus considérable que dans la figure 15. Le cambium celluleux (*cc*) se répand en dehors des utricules.

Fig. 17. — Cette figure offre la représentation d'un fragment de la coupe horizontale de la racine figures 14 et 15. Une des grandes utricules est remplie de cambium celluleux (*cc*).

Fig. 18. — La germination a fait des progrès. La radicule (*rc*) a une longueur triple de celle de la racine représentée fig. 14. Le collet (*cl*) est beaucoup plus épais, et le cotylédon (*ct*) plus long. J'ai fait une coupe horizontale de cet embryon au niveau du collet (*cl*), et cette coupe correspond assez bien à la ligne ponctuée de la fig. 11 de la planche II, quoique la germination soit beaucoup moins avancée dans ce dernier exemple que dans l'autre.

Fig. 19. —C'est ce que prouve la figure 19. En effet, je remarque dans l'épaisse enveloppe cellulaire qui recouvre la région centrale, la première ébauche de filets ligneux (*fl*) dont je parlerai plus tard; et il n'existe pas la moindre trace de ces filets dans la racine planche II, figure 12. Mais il est évident que les vaisseaux (*vt*), presque horizontaux dans la figure 19, sont les analogues de ceux de la figure 11, planche II (*vt*), lesquels changent de direction au niveau de la ligne ponctuée qui indique la place du collet (*cl*).

Pour mieux faire comprendre l'enchaînement des faits, il convient de donner ici l'explication de la figure 31 (pl. VI). Cette figure offre la coupe transversale de la racine originelle d'un embryon dont la germination est plus avancée que celle que j'ai représentée sous les numéros 18 et 19 (pl. III). On comprendra facilement que, si l'espace l'eût permis, cette trente-et-unième figure aurait été placée après la figure 19, sous le numéro 20.

La coupe a été faite immédiatement au-dessous du collet, et, par conséquent, dans la partie la plus âgée de la racine.

La région périphérique s'étend depuis la circonférence (*rp*) jusqu'à la région intermédiaire (*ri*); celle-ci a pour limite la région centrale (*rc*).

On remarque dans la région périphérique trois ou quatre couches de cellules qui constituent ensemble un tissu cellulaire, lequel, selon toute apparence, restera dans cet état jusqu'à sa destruction. C'est ce que j'appelle un tissu fixe (*tf*).

La partie la plus excentrique de la région intermédiaire (*ri*) offre aussi un tissu de transition (*tt*). Les cloisons qui limitent ses cellules ont acquis une certaine épaisseur. Cependant ce tissu n'aurait pas beaucoup gagné lors même que je l'eusse laissé en place ainsi que la racine à laquelle je l'ai enlevé, car cette racine était originelle (*ro*) et, par conséquent, point viable. Que si, au contraire, c'eût été une racine auxiliaire (*ra*) et que je l'eusse épargnée, il est certain qu'à moins d'accidents imprévus, les cloisons du tissu de transition (*tt*), après s'être épaissies se seraient dédoublées, que chaque cellule aurait passé à l'état d'utricule complexe (*uc*), et qu'il se serait formé, par la réunion de ces nouvelles utricules, une enveloppe ligneuse (*el*) telle que celle que l'on peut voir dans la figure 20 (Pl. IV). Au-dessous du tissu de transition (*tt*) viennent une multitude d'utricules qui complètent la région intermédiaire (*ri*). Elles sont de grandeur inégale, plus ou moins arrondies, collées les unes aux autres aux points de contact, et, par conséquent, elles laissent entre elles une multitude de méats (*m*). Il n'est pas rare qu'elles contiennent des cristaux (*c*), aciculaires, groupés en bottes comme des alumettes. Cet assemblage d'utricules se déchire çà et là de manière à former de longues et larges lacunes (*l*) qui s'étendent dans la direction des rayons. Les lambeaux de membrane qu'elles contiennent attestent leur origine. Ces déchirements n'auraient pas eu lieu si, par l'effet de la nutrition, de nouvelles utricules se fussent

formées entre les anciennes; car, dans ce cas, il y aurait eu nécessairement extension de la région intermédiaire qui se serait portée en avant, tandis que la région centrale, en pleine croissance, aurait pris paisiblement possession de l'espace abandonné. L'incapacité de la région intermédiaire (*ri*) à produire de nouvelles utricules est sans nul doute un symptôme de dépérissement. Il se manifeste plus tôt ou plus tard dans la racine originelle (*ro*), qui, comme je l'ai dit tout à l'heure, n'a jamais une longue durée. C'est encore à sa débilité qu'il faut attribuer l'absence de ces filets ligneux dont j'ai reconnu les premiers rudiments dans le fragment qui a servi de modèle à la figure 19 de la Planche III (*fl*).

A voir la pâleur de l'organisme qui constitue en majeure partie la région centrale (*rc*), on peut assurer qu'il est de très-nouvelle formation. Tout près de la circonférence on remarque onze faisceaux de petits et moyens vaisseaux scalariformes (*ps-ms*) disposés en cercle. Les larges pertuis (*p*), qui établissent une communication entre eux, se distinguent déjà très-nettement. Il est certain que ces vaisseaux deviennent adultes longtemps avant les autres. Un peu plus loin de la circonférence sont les grands scalariformes (*gs*) encore dans l'enfance. Leurs parois sont pâles et minces; on n'y aperçoit aucun indice de l'existence de pertuis. Les onze faisceaux de petits et moyens scalariformes (*ps-ms*) alternent avec un nombre égal de cloisons formées par le tissu cellulaire, et dans l'épaisseur de chacune de ces cloisons il s'ouvre par le retrait du tissu une cavité longitudinale qui se remplit immédiatement de cambium celluleux (*cc*). Je ferai voir plus tard, comment, dans les racines auxiliaires, ce cambium se change en vaisseaux scalariformes. Le cambium abonde dans les cellules du tissu de cette région voisin de la circonférence et du centre. La partie intermédiaire n'en contient pas encore.

On demandera peut-être à quoi bon s'arrêter sur ces faits qui semblent sans importance. La suite fera voir que tous interviennent comme causes ou effets dans les phénomènes de la vie végétale.

Je suspends un moment la longue série de mes observations sur la structure et le développement de la racine du Dattier, pour donner ici, en peu de mots, le résumé des faits qui m'ont le plus frappé lorsque j'ai dirigé mon attention sur l'embryon germant.

Quand les graines du Dattier sont nouvellement semées, l'embryon

tout entier n'offre qu'un simple tissu cellulaire; sa radicule forme un mamelon à peine sensible; son bourgeon, caché dans la cavité inférieure du cotylédon, est représenté par deux ou trois petites excroissances, rudiments des feuilles primordiales. Dans des germinations quelque peu plus avancées, la racine est un très-petit cône où je n'ai pu découvrir le moindre indice de la transformation d'utricules en vaisseaux. Il n'en est pas de même des cotylédons et des feuilles. Des files d'utricules métamorphosées en trachées partent du collet, et, réunies en faisceaux disposés circulairement autour de la région centrale, se distribuent entre le cotylédon et les feuilles les plus âgées, et, par conséquent, les plus excentriques. Il n'est pas douteux que, dans ce cas, la métamorphose des utricules ne commence au collet et ne se propage de bas en haut, puisqu'en bas les faisceaux sont presque entièrement composés de trachées, alors qu'en haut la seule modification qui se fasse remarquer est l'allongement des utricules. A l'aide du temps, celles-ci deviendront semblables aux autres.

L'examen de germinations plus anciennes, quoique très-jeunes encore, me fit assister à la formation de l'appareil vasculaire de la racine. Les utricules qui concourent à la composition de ses vaisseaux sont sensiblement allongées. Les plus voisines du collet ont déjà revêtu les caractères des scalariformes, et se rattachent, par leur extrémité supérieure, aux trachées des feuilles et du cotylédon. La métamorphose des utricules est d'autant moins avancée, que la place qu'elles occupent est plus rapprochée de l'extrémité de la racine.

Il résulte de ces faits que l'appareil vasculaire d'une feuille de l'embryon du Dattier en germination, commence à s'organiser avant qu'un seul vaisseau apparaisse dans la radicule, d'où je conclus que ce n'est pas de la radicule que procèdent les vaisseaux de la feuille. Mais, et je dois me hâter de le dire, ce n'est pas non plus de la feuille que procèdent les vaisseaux de la radicule. En effet, ces derniers n'étant, avant leur métamorphose, que de simples utricules disposées en série, appartiennent déjà à la radicule, de même qu'appartiennent à la feuille les utricules transformées qui constituent son appareil vasculaire.

La radicule et la feuille, pour passer à l'état adulte, travaillent donc séparément sur elles-mêmes, et mettent en œuvre leurs propres éléments organiques, sans que l'une en emprunte à l'autre, et réciproquement. Tou-

tefois on ne saurait nier que, sous d'autres rapports, elles ne se prêtent une mutuelle assistance. Bien que leurs éléments organiques ne se confondent pas, il s'établit entre eux, par des anastomoses, une correspondance active qui profite à l'une et à l'autre.

Cette loi, que je signale à l'occasion de l'embryon du Dattier, est des plus générales; on en retrouve la confirmation dans toutes les parties des végétaux que M. de Candolle a nommés vasculaires. C'est faute de l'avoir comprise que Philippe de la Hire, qui n'a fait que reproduire une très-ancienne opinion, qu'à tort ou à raison on attribue à Hippocrate (1), affirme que tel vaisseau que ce soit, parti d'un bourgeon situé au plus haut d'un arbre, descend jusque dans la racine à travers les parties intermédiaires sans rien perdre, chemin faisant, de son individualité. C'est faute encore d'avoir compris cette loi que de savants phytologistes, nos contemporains, soutiennent que si l'on unit par la greffe deux végétaux d'espèces différentes, mais très-voisines, et que l'on supprime exactement tous les bourgeons du sujet, laissant aux bourgeons de l'ente le soin de pourvoir seuls aux exigences de la végétation, le bois qui se formera désormais au-dessous de la greffe sera de même essence que le bois de l'ente, et non, comme on le prétend, de même essence que le bois du sujet.

PLANCHE IV.

Fig. 20. — Coupe transversale de la racine dont on voit la grosseur réelle en *a*, figure 21. Cette coupe, qui ne comprend que la région périphérique (*rp*) et une petite portion de la région intermédiaire (*ri*) a été faite près de la base de la racine, et, par conséquent, sur une partie qui, sans être vieille, n'est plus de la première jeunesse. Les caractères qu'offre l'organisation suffiraient seuls pour le prouver.

La région périphérique se présente ici comme formant deux enveloppes organisées, différentes par la structure, l'une extérieure, l'autre inté-

(1) Voyez *Encyclopédie des sciences médicales*, etc. M. Bayle, directeur. Hippocrate, I, page 573.

rieure. Celle-ci se compose d'utricules simples, bien distinctes, assez régulières, et juxtaposées (*usj*). L'autre est un tissu cellulaire fixé (*tf*), nonobstant la présence de trois ou quatre méats (*m*) qui révèlent que, dans l'origine, il y a eu tendance à la dislocation, et, par conséquent, à la transformation du tissu cellulaire en un amas d'utricules. Ces différences ne doivent pas étonner. Les deux enveloppes ont été précédemment un tissu cellulaire de transition (*tt*). Mais l'enveloppe extérieure plus vieille, et d'ailleurs exposée immédiatement à l'action de la chaleur, du froid, de la sécheresse, de l'humidité, a cessé de végéter avant d'avoir atteint le terme de ses développements; tandis que l'autre, abritée par elle, a continué de croître et de se modifier. Toutefois, cette dernière n'aura pas une grande durée. L'épaississement progressif de la région intermédiaire (*ri*) et de la région centrale (*rc*) poussera en avant les deux enveloppes ensemble, et, comme l'extérieure n'est déjà plus extensible, elle ne tardera pas à se déchirer et à disparaître; et dès lors l'autre, à son tour, placée en première ligne, sera exposée sans défense à l'action délétère des agents extérieurs. Mais avant qu'elle soit détruite, de nouvelles utricules naîtront à la surface de la région intermédiaire (*ri*) et y formeront une nouvelle enveloppe, qui aura le même sort que la précédente et sera remplacée comme elle.

Immédiatement après la région périphérique (*rp*) commence la région intermédiaire (*ri*). Sa limite est marquée par une enveloppe ligneuse (*el*), laquelle se compose d'utricules complexes, juxtaposées (*ucj*), plus ou moins régulières. Elles sont complexes, en ce sens que la cavité de chacune d'elles contient des utricules plus petites, emboîtées les unes dans les autres. Les utricules complexes sont de trois sortes : les unes (*ucr*), et c'est le plus grand nombre, sont plus ou moins régulières, allongées en polyèdre ordinairement à six côtés. Leur sommet et leur base se terminent par un plan presque toujours horizontal. Elles sont placées bout à bout, les unes au-dessus des autres. Leurs parois complexes sont traversées horizontalement par des pertuis très-fins. Quand on regarde les pertuis sur la face des utricules soit extérieure, soit intérieure, l'orifice de chacun d'eux paraît comme un point. Quand on les regarde sur la coupe transversale, ils représentent de petites portions de rayons qui s'étendent depuis le pourtour de la cavité

centrale jusqu'à la circonférence. M. Mohl assurait d'abord que partout où se trouvaient les pertuis, ils étaient fermés à l'extérieur par une membrane très-fine; mais cet habile phytologiste a déclaré depuis que la perforation était complète. Je suis de cet avis, et je comprends ce qui a pu fournir matière à l'erreur de M. Mohl. Les pertuis dont les vaisseaux sont criblés, ne se forment qu'à l'aide du temps. J'ai observé maintes fois, dans l'aubier de végétaux dicotylés, des tubes vasculaires parfaitement clos, et ces mêmes vaisseaux, dans des parties un peu plus avancées, m'ont offert des pertuis très-apparents. Des faits analogues se sont présentés à moi, de nouveau, dans la racine du Dattier et de quelques autres monocotylés. Les utricules emboîtées les unes dans les autres, qui constituent les vaisseaux complexes, ne sont pas toutes de même âge. La plus extérieure est la plus vieille, les autres se sont formées successivement dans sa cavité, de telle sorte que la plus intérieure est la plus jeune. On comprend donc que cette dernière, qui plus tard sera criblée de trous comme ses aînées, puisse être tout à fait close alors que les autres sont pertuisées.

Les utricules complexes de la seconde sorte (*uca*), que je nomme anomales, diffèrent des premières, parce qu'elles sont plus amples, que leur forme est variée et irrégulière, qu'elles ne gardent souvent entre elles aucun ordre déterminé, et que les pertuis qui criblent leurs parois sont sensiblement plus grands.

Jusqu'ici la racine du Dattier ne m'a montré que dans l'enveloppe ligneuse (*el*) de la région intermédiaire (*ri*), la troisième sorte d'utricules complexes, que je nomme utricules juxtaposées (*ucj*). Voici ce que j'en puis dire : des utricules complexes, d'assez grandes dimensions et de formes diverses, sont appliquées exactement les unes contre les autres, de telle sorte qu'elles ne laissent pas de vide entre leurs parois; et ces utricules communiquent ensemble par des pertuis qui s'abouchent les uns aux autres.

La majeure partie de la région intermédiaire (*ri*) se compose d'utricules simples, closes, qui varient dans leurs dimensions et leurs formes. Leurs contours sont plus ou moins arrondis. Elles adhèrent les unes aux autres par leurs points de contact, et laissent entre elles de petits espaces vides qu'on a nommés méats interutriculaires (*m*). On remarque dans cette

région un assez grand nombre de filets ligneux (*fl*) formés d'utricules complexes régulières (*ucr*), toutes semblables à celles qui constituent la majeure partie de l'enveloppe ligneuse (*el*), laquelle sépare la région intermédiaire de la région périphérique (*rp*). Ces filets ligneux parcourent la racine dans sa longueur. Leur surface est couverte en partie de petites utricules lenticulaires (*ul*) dont la paroi reste mince et membraneuse. Elles contiennent deux sphérioles (*sp*) emboîtées l'une dans l'autre, et, à ma connaissance, elles ne passent jamais à l'état ligneux.

La région centrale (*rc*) se distingue très-bien de la région intermédiaire. La pâleur du tissu cellulaire qui constitue la majeure partie de sa masse indique qu'elle est de formation plus récente que les deux autres régions. Le cambium à l'état celluleux (*cc*) remplit une grande partie des cellules. On le retrouve dans les lacunes (*l*) formées à la circonférence de la région par le retrait du tissu. Ce cambium, s'il n'est arrêté dans son développement, doublera le nombre des lames vasculaires (*lvc*) composées de petits (*ps*), de moyens (*ms*), et de grands scalariformes (*gs*). Il est à remarquer que les petits scalariformes s'organisent toujours les premiers, que les moyens paraissent ensuite, et finalement les grands.

Fig. 21. — Grandeur réelle de la portion de la racine auxiliaire que m'a donnée la coupe transversale figure 22.

Fig. 22. — Cette coupe transversale appartient à une racine déjà avancée en âge. Elle représente la région centrale (*rc*), et, par conséquent, fait suite à la figure 20.

Une petite portion de la région intermédiaire (*ri*) recouvre la ceinture festonnée, ou, pour parler plus exactement, le fourreau cannelé (*fc*) qui sépare de la région intermédiaire la région centrale (*rc*). Chaque grande utricule se dessine sur la coupe transversale, non sans beaucoup d'incorrections, comme un demi-cercle dont l'ouverture serait fermée par une ligne qui représenterait le diamètre. Au centre de cet hémicycle est une petite utricule de laquelle partent, en forme de rayons, des cloisons qui vont s'attacher à la portion demi-circulaire de la paroi de la grande utricule. Celle-ci, comme l'on voit, n'est en réalité qu'une utricule complexe, bien différente toutefois des utricules composant l'enveloppe ligneuse (*el*).

On comprend, par cette description de la coupe transversale du fourreau cannelé, ce qui a pu me déterminer d'abord à lui imposer le nom de *ceinture festonnée;* mais ce nom, applicable à un aspect particulier de cet organisme, ne donnait pas une juste idée de sa forme générale.

Au-dessous du fourreau cannelé (*fc*), et par conséquent dans la région centrale (*rc*), sont trois séries circulaires d'utricules complexes irrégulières (*ucr*) qui ont beaucoup d'analogie avec celles qui sont représentées dans l'enveloppe ligneuse (*el*) de la région intermédiaire (*ri*). Le dessinateur a indiqué ces utricules complexes irrégulières d'une manière très-imparfaite, mais la planche VIII, figure 43 (*ucr*), en fournira une représentation plus exacte.

Une masse ligneuse, assemblage d'utricules complexes régulières (*ucr*), ne différant en rien des utricules qui constituent les filets ligneux (*fl*) de la région intermédiaire, et presque toute l'enveloppe ligneuse (*el*), forme la majeure partie de la région centrale (*rc*). Cette masse ligneuse s'accroîtra encore. Beaucoup d'utricules simples (*us*), cantonnées dans la partie la plus centrale, passeront successivement à l'état complexe.

Près du fourreau cannelé (*fc*), des groupes de petits vaisseaux scalariformes (*ps*) se montrent de distance en distance sur une ligne circulaire. Un peu moins loin du centre, à la suite des petits vaisseaux, prennent place les moyens scalariformes (*ms*). Après eux, et plus rapprochés du centre, sont les grands scalariformes (*gs*). Ces vaisseaux, petits, moyens et grands, tantôt se touchent, tantôt sont séparés et toujours sont disposés plus ou moins exactement dans la direction des rayons. Tous ensemble forment en quelque sorte, surtout dans la jeunesse, des lames vasculaires convergentes (*lvc*).

En nombre égal à ces lames, et au milieu des masses d'utricules ligneuses qui les séparent, on observe de petits rassemblements d'utricules très-jeunes, lesquelles commencent au voisinage du fourreau cannelé (*fc*) et se propagent vers le centre. Ce n'est autre chose, quoi qu'on en ait dit, que des scalariformes naissants (*lvc*), semblables à ceux dont j'ai parlé à l'occasion de la figure 30.

Les vaisseaux scalariformes (*vs*) ne diffèrent guère entre eux que par leur grandeur. Les parois sont complexes et d'une épaisseur notable. Il est en général facile de distinguer les membranes superposées qui les constituent. Il arrive même que des lambeaux de ces membranes (*) se détachent

partiellement et flottent dans l'intérieur des vaisseaux. Des taches brunes (*t*), distribuées avec symétrie, indiquent sur la coupe transversale la présence des pertuis (*p*).

Les utricules complexes régulières (*ucr*), qui constituent la presque totalité de la masse ligneuse de la région centrale, sont logées une à une dans les cavités d'un tissu cellulaire fixé (*tf*). La même structure reparaît dans la figure 42 (pl. VII), et, si l'on veut bien prendre la peine de comparer cette figure 42 à la figure 41, on comprendra, au premier coup d'œil, comment les utricules complexes ont, pour ainsi dire, été jetées en moule dans les cellules du tissu préexistant.

Fig. 23. — Elle représente une coupe vertico-radiale de la région périphérique (*rp*), et d'une portion de la région intermédiaire (*ri*), coupe qui offre sous un nouvel aspect, l'organisation que nous avons étudiée dans la figure 20.

La partie la plus excentrique de la région périphérique (*rp*) reproduit, avec les mêmes apparences, l'enveloppe de tissu cellulaire fixé (*tf*), déjà remarquée en 20. Vient ensuite la seconde enveloppe composée, comme l'on sait, d'utricules simples très-sensiblement allongées (*ua*).

A côté, à gauche, commence la région intermédiaire (*ri*). Ses huit ou neuf couches d'utricules les plus voisines de la circonférence sont formées en totalité d'utricules complexes allongées et pertuisées. La plupart sont régulières (*ur*); les autres sont anomales et irrégulières (*uan*). Ces deux sortes d'utricules se distinguent fort bien à la vue, sur la coupe horizontale (fig. 20); mais il serait souvent très-difficile d'indiquer par des mots leurs caractères différentiels. Il n'en est pas de même dans l'exemple qu'on a sous les yeux (fig. 23). Il suffit de dire, pour donner le signalement de leurs utricules, que les unes sont d'une régularité presque parfaite, tandis que les autres sont d'une irrégularité notoire. Un peu plus avant vers le centre s'offrent les utricules simples plus ou moins irrégulières (*usi*) qui forment la majeure partie de la région intermédiaire.

Çà et là, dans cette région (*ri*), sont des filets ligneux (*fl*). La coupe verticale de l'un d'eux met en lumière la disposition symétrique des utricules qui le composent. Dans chaque série elles sont de même forme, de même calibre, parfaitement rectilignes et ajustées bout à bout avec une extrême

précision. La seule irrégularité qu'on y remarque, c'est que les parois transversales qui séparent les utricules dans chaque série sont quelquefois obliques (*) au lieu d'être horizontales, ce qui pourtant est de beaucoup le cas le plus commun. Chaque filet ligneux (*fl*) est recouvert d'utricules lenticulaires (*ul*).

PLANCHE V.

Fig. 24. — Elle donne la grandeur réelle de cette portion de la racine auxiliaire qui a fourni le modèle des autres figures de la planche V.

Fig. 25 et 26, A et B. — Ces deux fragments considérablement grossis, d'une coupe transversale d'*a* et *b* (voyez fig. 24), font suite l'un à l'autre. On conçoit qu'ayant été pris à onze millimètres de la pointe *c* de la racine, ils ont dû offrir à l'observateur une occasion favorable pour étudier l'organisme naissant.

La région périphérique (*rp*) est composée d'un tissu cellulaire de transition (*tt*), lequel a été arrêté dans son développement par l'influence des agents extérieurs. Dans cet état, on doit le considérer comme mort. Il n'est plus susceptible de s'accroître; il ne peut que décroître, et pourtant il n'est pas inutile : il retarde la destruction des parties qu'il recouvre immédiatement. Au-dessous de ce tissu de transition se trouve la région intermédiaire (*ri*), laquelle commence par une couche de cambium dans trois états différents. La partie la plus excentrique de ce cambium peut être désignée sous le nom de *cambium globuleux* (*cg*). Au premier aperçu on le prendrait pour un assemblage de globules étroitement unis les uns aux autres. On y distingue les parties relevées en bosse. Elles sont éclairées tandis que le contour est dans l'ombre. Le passage de la lumière à l'ombre s'opère par nuances insensibles, comme il arrive à tout corps hémisphérique et poli dont le sommet reçoit directement les rayons lumineux. Mais, nonobstant les apparences, on ne saurait admettre que la coupe transversale d'une masse continue et mucilagineuse donne une surface mamelonnée. Il y a donc ici une illusion d'optique. J'ai imaginé d'abord que cette apparence provenait de l'inégale densité de la matière organique

qui se retirait graduellement de la région centrale, et s'accumulait à la circonférence pour former à la fois les cavités cellulaires et les cloisons qui les circonscrivent, d'où il résultait, selon moi, que la lumière que renvoyait le miroir de mon microscope, n'arrivait pas à mon œil aussi vive après avoir traversé les parties les plus denses qu'après avoir traversé celles qui le sont moins. Toutefois, je dois l'avouer, cette hypothèse qui m'avait séduit d'abord, me paraît maintenant inadmissible.

Ne se pourrait-il pas que l'affaiblissement de la lumière eût pour cause la disposition relative des molécules organiques, alors que la végétation travaille à modifier son œuvre? Un fait très-remarquable et que j'ai profondément étudié, vient à l'appui de cette nouvelle hypothèse. J'ai vu sur la jeune paroi membraneuse d'utricules closes, allongées en tubes, et qui, plus tard, comme l'indiquait leur position, devaient se transformer en vaisseaux pertuisés, petits, moyens et grands, j'ai vu, dis-je, des places opaques paraissant comme des taches d'un ton gris plus ou moins foncé, lesquelles devançaient l'apparition des pertuis, et ne tardaient pas à être remplacées par eux. Or, ces taches grises, ou, pour mieux dire, ces places opaques ne devaient certainement pas leur opacité à l'accumulation d'une surabondance de molécules organiques. Il est au contraire très-probable qu'il y avait là un amincissement de la membrane; et, ce qui est prouvé par le fait même, c'est que la végétation était en train de déplacer les molécules pour ouvrir des pertuis partout où s'étaient montrées les taches (voyez pl. IX, fig. 44, 45 et 46).

Au-dessous du cambium dit *globuleux* (*cg*), ou quelquefois mêlé avec lui, est le cambium globulo-cellulaire (*cgc*), qui ne diffère du premier qu'en ce qu'au centre de chaque mamelon on aperçoit un point sombre, indice certain de l'existence d'une cavité.

Plus bas, l'apparence globuleuse disparaît complétement, et les cavités acquièrent une grandeur plus considérable. Dans cet état, la matière régénératrice reçoit le nom de *cambium celluleux* (*cc*). Ce serait se faire une fausse idée du cambium (*c*), de ne voir en lui qu'une matière alimentaire susceptible de se porter d'un endroit à un autre. Ce serait se tromper également de croire que toute la masse du cambium est organisée. Le cambium, si je ne m'abuse, est l'alliance, mais non la confusion d'un organisme naissant, produit d'un organisme antérieur, joint à un suc alimentaire

qui pénètre incessamment la masse du jeune tissu et l'accroît par la nutrition. Passé les trois états de cambium globuleux (*cg*), de cambium globulocellulaire (*cgc*) et de cambium celluleux (*cc*), toute apparence de mucilage disparaît, et il n'est plus question de l'existence du cambium. Il s'est changé en un tissu cellulaire continu (*t*) qui, à son tour, se métamorphose en utricules simples (*us*), ou en vaisseaux (*v*).

Immédiatement après le cambium celluleux, viennent un tissu à cloisons membraneuses moins épaisses, plus fermes, toutes couvertes de papilles (*tp*) disposées en quinconce; puis un tissu (*ts*) à cloisons sèches et minces; puis un tissu entre les cellules duquel il se forme des canaux ou méats (*tm*) produits par le dédoublement partiel des cloisons. Ce nouvel état de choses fait pressentir la dislocation complète du tissu, et, par conséquent, l'émancipation prochaine des cellules, qui dès lors prendront le nom d'utricules.

Le tissu à parois sèches et minces et le tissu traversé par des méats sont marqués de stries transversales et parallèles que l'on retrouve dans les utricules simples (*us*).

Le cambium, dans son état primitif, n'est qu'un mucilage amorphe; mais à partir du cambium globuleux (*cg*) jusqu'aux utricules simples, il est visible que la Nature a tendu sans relâche à constituer des individualités, c'est-à-dire des utricules libres jouissant d'une existence propre. La Nature est arrivée finalement à son but par la complète dislocation du tissu cellulaire.

Au bas du fragment A et au haut du fragment B qui lui fait suite, on observe un tissu cellulaire à cloisons sèches et minces (*ts*), lequel termine la région intermédiaire (*ri*). Ce tissu est analogue à celui que j'ai signalé dans le fragment A, entre le tissu à parois papillaires (*tp*) et le tissu percé par des méats (*tm*). Or, ce tissu est évidemment plus jeune que les utricules simples (*us*) qui le précèdent; par conséquent il ne saurait tirer son origine de la couche de cambium qui sépare la région intermédiaire de la région périphérique, et il n'y a pas de doute qu'il ne provienne de l'autre couche de cambium (*c*) placée entre la région intermédiaire et la région centrale (fragment B).

On remarque encore dans le fragment A des amas de cambium globuleux (*cg*) qui remplissent les lacunes (*l*) de la région intermédiaire.

La couche du cambium (*c*) du fragment B offre, comme celle du fragment A, le cambium globuleux, le cambium globulo-cellulaire, le cambium celluleux, et, au-dessous de cette couche, on retrouve le tissu cellulaire à parois papillaires (*tp*), puis le tissu cellulaire à cloisons membraneuses sèches, lisses et minces (*ts*), et, dans la portion tout à fait centrale, les utricules simples (*us*).

Parmi les cellules à parois papillaires, il s'en trouve de plus grandes que les autres qui sont remplies de cambium celluleux (*cc*) ou sont vides. Ces grandes cellules se changeront en vaisseaux scalariformes (*vs*).

Fig. 27, 28, 29 et 30. — Elles représentent plus en grand différentes portions de l'organisme naissant, sur lesquelles il importe d'attirer l'attention.

PLANCHE VI.

Fig. 31. — L'espace ne m'a pas permis de placer cette figure à côté de la figure 19, dans la planche III. C'eût été sans doute sa véritable place; mais pour conserver au moins l'ordre naturel des idées, j'ai jugé à propos d'exposer ma manière de voir touchant la figure 31, immédiatement après avoir décrit en peu de mots les caractères qui distinguent le fragment 19.

Fig. 32. — Les amas de cambium globuleux (*cg*), contenus dans les lacunes de la région intermédiaire (*ri*) du fragment A, représenté dans la planche V, vont offrir dans cette planche VI, une série de métamorphoses semblables, à très-peu près, à celles que j'ai déjà notées; mais au lieu de se présenter toutes ensemble à des places différentes, elles se présenteront successivement à la même place. Ainsi, prenons l'un des amas de cambium globuleux (*cg*) de la planche V, figure 27, transportons-le ici, sous le numero 32, et suivons les progrès de ses modifications, il deviendra successivement sous nos yeux :

Fig. 33. Un cambium globulo-cellulaire (*cgc*).

Fig. 34. Un cambium celluleux (*cc*).

Fig. 35. Un tissu à parois papillaires (*tp*).

Fig. 36. Un tissu à cloisons membraneuses, sèches, lisses et minces (*ts*).

Fig. 37. Un groupe de nombreuses utricules simples (*us*).

Fig. 38. Une réunion d'utricules complexes régulières et allongées (*ucr*), formant des filets ligneux (*fl*).

La différence entre cette série de métamorphoses (pl. VI) et celle du cambium globuleux (*cg*) de la couche interposée entre la région périphérique (*rp*) et la région intermédiaire (*ri*) (pl. V), consiste en ce que dans la première série il n'y a pas de tissu cellulaire pourvu de méat (*tm*), et que dans la seconde il n'y a pas d'utricules complexes (*ucr*). L'absence de ces utricules complexes est un fait de l'organisme qui n'admet aucun commentaire. L'absence des méats résulte de ce que la séparation complète des cellules, au lieu de se faire graduellement, est instantanée.

Fig. 39 et 40. *Observation.* La description des fig. 39 et 40 de cette planche VI trouvera naturellement sa place dans ce que j'ai à dire touchant la fig. 43, planche VIII.

PLANCHE VII.

Fig. 41. Une couche d'utricules, origine du fourreau cannelé (*fc*), sépare la région centrale de la région intermédiaire; cette couche n'existe pas dans la première jeunesse de la racine (voyez pl. V, fragment B *rc*). Elle se forme un peu plus tard et se modifie diversement à mesure qu'elle vieillit. A son apparition, ses utricules se dessinent sur la coupe transversale en polygones à six côtés; mais il arrive le plus souvent que deux angles s'émoussent à tel point qu'à la première vue ces hexagones semblent des carrés incorrects (*fc*).

Immédiatement au-dessous de cette enveloppe, et par conséquent dans la région centrale, on remarque deux ou trois couches d'utricules qui deviendront complexes et irrégulières (*uci*). Puis plus bas, sont les scalariformes petits (*ps*), moyens (*ms*) et grands (*gs*). Les petits acquièrent les premiers une certaine consistance, et prennent une couleur foncée de rouille. Souvent toutes les cavités sont remplies de cambium celluleux (*cc*). Ce cambium transforme une multitude d'utricules simples en utricules

complexes. Je vais dire comment la métamorphose s'opère dans les utricules qui deviendront de moyens et grands vaisseaux scalariformes.

Je prends pour exemple une utricule qui commence un grand scalariforme (*gs*). Elle contient dans ce moment, vers sa partie centrale, trois utricules : la première (1) à peine visible, tant elle est petite, est emboîtée dans la seconde (2) qui n'est guère plus grande, et l'une et l'autre sont emboîtées dans la troisième (3) de moyenne grandeur. Tout l'espace compris entre l'utricule-mère et l'utricule 3 est rempli de cambium celluleux. Il en est de même de l'espace compris entre l'utricule 3 et l'utricule 2, et de même encore entre l'utricule 2 et l'utricule 1. Enfin cette dernière contient elle-même un cambium celluleux; mais, sous les plus fortes lentilles du microscope, les cellules de ce cambium paraissent comme des points. Il est à remarquer que la grandeur des cellules de ces divers amas de cambium est d'autant moindre que l'utricule où se trouvent ces cellules est plus petite. La raison en est simple : plus est petite l'utricule, plus jeune elle est, et moins est âgé le cambium celluleux qu'elle renferme, puisque c'est elle qui l'a engendré.

A une époque antérieure, le grand scalariforme avait de plus petites dimensions et était tout rempli de cambium celluleux. Aucune utricule ne paraissait dans sa cavité. En avançant en âge, il a pris plus d'ampleur; les cellules de son cambium ont grandi et se sont multipliées, et, vers le centre, l'une d'elles a passé à l'état d'utricule. Cette nouvelle utricule s'est accrue; elle a repoussé de tout côté le cambium qui l'environnait. Je l'indique sous le chiffre 3. Si aucun accident ne l'arrête dans son développement normal, elle continuera de grandir, le cambium refoulé disparaîtra, et finalement, elle s'appliquera sur la face interne du grand scalariforme dont elle deviendra la doublure. A l'aide du temps et par le même procédé, cette doublure sera elle-même doublée, triplée, etc. Voilà comme les utricules appelées à devenir des scalariformes, passent de l'état simple à l'état complexe. Ce mode de formation n'appartient pas exclusivement à la racine du dattier. Je l'ai observé dans d'autres racines de monocotylés. Je l'ai retrouvé dans des dicotylés, et notamment dans des branches de *planera*.

Ceci me rappelle ce que j'ai observé dans la racine de la vanille. Le cambium contenu dans des utricules disposées en cercle autour de la ré-

gion intermédiaire et de la région centrale, au lieu de produire de nouvelles utricules complexes, ne produit que des lames membraneuses qui doublent, triplent, quadruplent, quintuplent, etc., une portion seulement de la paroi de chaque utricule primitive, de sorte qu'on pourrait dire que ces utricules sont simples d'un côté et complexes de l'autre.

Un fait plus général et plus important sous le point de vue physiologique, c'est que, là même où il n'entre pas dans le plan de la Nature de faire des utricules complexes, il se produit incessamment des amas de cambium celluleux qui, en tout ou partie, se transforment en utricules tantôt isolées, tantôt groupées, tantôt emboîtées les unes dans les autres (voy. pl. VI, fig. 34 et 38); et ces utricules et ce cambium se flétrissent, meurent (*cm*), disparaissent, et sont remplacés par d'autres semblables, tant que dure la végétation. Je serais bien trompé si ces matières végétalisées et résorbées ne contribuaient puissamment à la nutrition de la plante.

Toujours dans la région centrale, à deux utricules d'épaisseur de la ceinture, qui deviendra plus tard le fourreau cannelé (*fc*), se montrent des taches brunes dont le contour est irrégulier. Sur ce fond sombre se dessinent en noir les orifices des petits scalariformes naissants, rapprochés en faisceaux.

Fig. 42. Fragment de la racine, lequel est un peu plus âgé que celui qui a servi de modèle à la figure 41.

A cet âge, la teinte brune de la coupe horizontale des petits scalariformes (*ps*) s'est presque entièrement effacée. On aperçoit seulement sur la tranche de leurs parois, à l'endroit où passent les pertuis (*p*), une tache foncée qui se maintient aussi longtemps que les vaisseaux eux-mêmes.

Bien s'en faut que cette merveilleuse abondance de cambium qui, dans l'exemple précédent (fig. 41), envahit tous les organes creux sans exception, se retrouve ici. En revanche, nous y voyons un grand nombre d'utricules complexes (*uc*). Chacune d'elles remplit l'une des cellules d'une portion notable du tissu dont la région centrale est formée. Cette portion, très-rapprochée du centre, constitue une sorte d'étui ligneux dans l'intérieur duquel sont logées des utricules simples (*us*) qui rappellent uniquement par leur position, la moelle des dicotylés. La surface de

l'étui est elle-même revêtue, à l'extérieur, d'une lame d'utricules simples et peu nombreuses. Ce sont les seules utricules de la région centrale (*rc*) qui maintenant contiennent du cambium. Il est évident que si le tranchant du scalpel n'eût pas mis un terme à la végétation de la racine, ces dernières utricules, au lieu de rester simples, seraient devenues complexes comme les autres. Il n'est pas moins évident que les amas d'utricules complexes que m'offre cette figure 42, sont la preuve certaine qu'antérieurement les cellules qui les contiennent aujourd'hui, étaient remplies de cambium celluleux, tel qu'il est représenté dans la figure 41. Comment donc pourrait-on douter de la transformation du cambium en utricule?

Reste à savoir par quel mode s'accomplit la métamorphose. Une des cellules du cambium, placée au centre de cette matière organisatrice, se séparerait-elle des autres et grandirait-elle jusqu'à ce qu'elle fût arrêtée dans son développement par la paroi de la cellule qu'elle semble destinée à doubler; et cette première utricule serait-elle suivie d'une seconde, d'une troisième utricule et plus, comme je l'ai observé dans les grands scalariformes (voy. fig. 41, *gs*, 1, 2, 3)? Je l'avouerai, j'ai cru d'abord qu'il en était ainsi, mais de nouvelles observations ont rectifié cette fausse manière de voir. Je suis convaincu aujourd'hui que, dans le cas dont il s'agit, la stratification des parois des utricules s'opère de toute autre façon que chez les grands scalariformes. En effet, la portion du cambium en contact immédiat avec la surface interne de la paroi de la cellule ou de l'utricule, se moule en quelque sorte sur elle, et ce phénomène organique, plusieurs fois répété dans la même cavité, donne naissance à une utricule plus ou moins complexe.

J'ai parlé ailleurs des utricules qui se portent en avant et font place à de plus jeunes, lesquelles ne tardent pas elles-mêmes à être remplacées par d'autres. Au premier aperçu, cette mobilité des utricules semble inconciliable avec leur emprisonnement dans les étroites cellules du tissu continu qui forme presque en entier la région centrale. Mais parce que ce tissu est continu dans son ensemble et qu'il ne se résout jamais en utricules libres, faut-il conclure qu'aucune cellule ou utricule nouvelle ne puisse çà et là se faire jour dans sa masse? Je ne le pense pas. L'accroissement journalier de la racine suffit pour infirmer ce jugement. Tant

que le tissu est vivant, il obéit à la puissance végétative, comme on peut s'en convaincre en jetant les yeux sur les figures 41 et 42 qui sont d'une parfaite exactitude. Il s'agissait de la création de nouvelles lames de vaisseaux scalariformes dans le jeune tissu cellulaire du pourtour interne de la région centrale. Pour accomplir cette œuvre, voici comme la végétation a procédé : En plusieurs endroits, les parois contiguës de cellules disposées sur deux rangs dans la direction des rayons, se sont dédoublées de manière à former d'étroites fissures qui s'élargirent insensiblement par le retrait simultané des tissus latéraux, et ne tardèrent pas à se remplir de cambium, lequel se transforma bientôt en tissu cellulaire, puis en utricules, et si je n'eusse mis fin à la végétation de la racine, les utricules seraient devenues infailliblement de petits, moyens et grands vaisseaux scalariformes. Un autre exemple encore plus remarquable est celui que présente la figure 43 (voy. pl. VIII). Là, toujours dans la région centrale, le tissu cellulaire rempli d'utricules complexes et ligneuses, offre tous les caractères de la vieillesse et par conséquent de l'inertie. Toutefois, nous y voyons six lames scalariformes très-jeunes, mais d'âges différents, qui ont trouvé moyen, malgré la dureté du bois de la racine, de s'interposer entre les anciennes lames, et, chose admirable, il n'est résulté de ce fait aucune trace sensible de désordre organique. C'est sans doute que tout était prévu d'avance.

PLANCHE VIII.

Fig. 43. Je vais étudier dans une vieille racine la portion la plus voisine du collet, qui est nécessairement la plus âgée. La masse ligneuse de la région centrale est très-dure. On pourrait être tenté de croire qu'elle est privée de vie, et que, par conséquent, les utricules simples ou complexes ont atteint le terme de leur croissance. Toutefois, le fragment d'une tranche horizontale que je place sous les yeux du lecteur, contient des parties très-jeunes qui ne sont point encore privées de vie, et auraient pris, je n'en doute pas, un développement considérable, si, en les séparant de la racine, je n'eusse pas mis un terme prochain à leur végétation.

Le fourreau cannelé 43 (*fc*) se présente ici sous un aspect tout différent de celui qu'il offre dans les figures 41, 39, 40 et 22 (*fc*). Si l'on passe en revue ces figures, en suivant l'ordre numérique que j'ai indiqué, on peut se faire une juste idée de toutes les modifications que cet organisme subit depuis l'âge adulte jusqu'à la vieillesse inclusivement. A la vérité, dans le fourreau 43, on distingue encore très-bien les utricules qui le composent; mais les cloisons qui divisent les cavités de ces utricules, au lieu de dessiner sur la coupe, des formes élégantes et presque symétriques, ne montrent que des lignes bizarrement agencées entre elles.

Au-dessous du fourreau nous trouvons des utricules complexes anomales (*uan*) que nous avons vues simples dans les figures 41 et 42 (*usi*), et qui déjà, comme nous en donnerons bientôt la preuve, commençaient à devenir complexes dans les figures 39 et 40 (*uan*). Ces utricules, disposées sur deux ou trois rangs, enveloppent la masse ligneuse centrale formée d'utricules complexes régulières (*ucr*), et les vaisseaux scalariformes petits (*ps*), moyens (*ms*) et grands (*gs*) qui composent les lames vasculaires convergentes (*lvc*). Nous remarquons particulièrement trois lames de cette sorte : l'une à notre gauche *x*, l'autre à notre droite *z*, la troisième entre les deux *y*. Ces lames se prolongent dans la direction des rayons. Pour quiconque n'en a pas fait une étude approfondie, elles diffèrent essentiellement entre elles. Mais en les prenant au moment où elles commencent à s'organiser, et les suivant dans leurs développements, on acquiert la certitude qu'elles sont de même nature et répondent aux mêmes fins.

La lame à gauche *x* est très-jeune. Elle se compose d'un tissu cellulaire qui touche à la limite de la région centrale, et d'utricules simples qui se rapprochent du centre. Le tissu formera bientôt les petits scalariformes. Les utricules deviendront peu après les scalariformes moyens et grands.

La lame à droite *y*, plus âgée, est entièrement composée d'utricules simples, petites ou grandes, à contours plus fermes, à parois un peu moins transparentes. Sur la coupe transversale de ces parois se montrent des taches grises qui signalent la présence de pertuis (*p*).

La lame *z*, placée entre celle de droite et celle de gauche, paraît avoir atteint le terme de sa croissance. Elle est formée d'une série d'utricules allongées, complexes, petites, moyennes et grandes; toutes ces utricules

attachées bout à bout et communiquant ensemble, constituent des vaisseaux. Cette lame parcourt un espace beaucoup plus considérable que les deux précédentes. Ses dernières utricules atteignent presque le centre de la racine. Sur la coupe transversale des parois, on distingue trois, quatre, cinq membranes superposées, et des pertuis plus ou moins larges d'un brun rouge.

De cet examen je conclus que les trois lames convergentes (*lvc*) de la figure 43 ne sont qu'un seul et même organisme à des âges différents.

La cavité des deux plus amples vaisseaux scalariformes (*gs*) est obstruée partiellement par des membranes. Dans le vaisseau le moins grand, le scalpel n'a laissé subsister que des lambeaux. Dans l'autre, au contraire, les membranes sont intactes. Elles forment deux diaphragmes qui sont superposés l'un à l'autre, et percés à jour irrégulièrement. Ces membranes ne sont autre chose que les parois de l'extrémité des utricules allongées dont se composent les vaisseaux scalariformes.

Les utricules complexes et régulières (*ucr*) qui constituent la masse ligneuse de la région centrale, sont emprisonnées dans les cavités d'un tissu cellulaire fixé (*tf*).

Pour ne rien omettre de ce que l'observation m'a appris sur la formation des lames vasculaires de la région centrale, je vais expliquer ici la figure 39 et appeler l'attention sur la figure 40 (voy. pl. VI).

Ce petit fragment 39 d'une coupe horizontale faite sur une partie jeune de l'une des racines auxiliaires du Dattier, appartient à la portion la plus excentrique de la région centrale, à cela près de huit utricules disposées sur deux rangs, lesquelles sont des débris de la région intermédiaire.

En soumettant ce fragment à l'observation microscopique, mon dessein a été d'assister, si faire se pouvait, à la naissance d'une lame vasculaire. Déjà plusieurs fois j'avais tenté de prendre la Nature sur le fait; mais aucune coupe n'avait encore rempli complétement mon attente. Celle-ci ne me laisse rien à désirer, et je dois dire que le pinceau et le burin ont heureusement traduit l'œuvre de la végétation. Le fourreau cannelé (*fc*) est représenté par une série de six utricules, dont quatre ont déjà éprouvé des changements notables, comme il est facile de s'en assurer en les comparant aux utricules (*fc*) des figures 41 et 42 de la planche VII. Viennent

après deux ou trois rangs un peu confus d'utricules qui passeront bientôt à l'état d'utricules complexes anomales (*uca*). L'une d'elles (*) a déjà revêtu ces caractères; et si l'on porte les yeux sur la figure 40, on y verra que, soit pour le fourreau cannelé (*fc*), soit pour les utricules complexes anomales (*uca*), le travail est sensiblement plus avancé que dans la figure 39.

Au-dessous de deux ou trois rangs d'utricules complexes anomales (*uca* fig. 39), on remarque un grand espace, ou, pour parler le langage de la science, une grande lacune entourée d'utricules simples juxtaposées (*ujp*). Si le fragment 39 eût été enlevé plus tôt, il est certain qu'il ne m'eût pas offert une lacune. Les lacunes ne sont point originelles, elles se forment à l'aide du temps. L'espace qu'occupe celle que j'ai représentée était rempli précédemment par les utricules qui, aujourd'hui, en limitent l'étendue. Ces utricules se sont retirées en arrière, en bas, et des deux côtés, par un mouvement graduel et spontané; et pendant qu'elles exécutaient cette manœuvre, un cambium globulo-cellulaire venait remplir la place qu'elles abandonnaient. Maintenant le cambium globulo-cellulaire n'en occupe plus qu'une partie; l'autre partie contient des utricules mamelonnées. Sans doute on voudra savoir comment s'est opéré ce changement: les faits que j'ai recueillis répondent à cette question. Que l'on examine avec attention le cambium restant, lequel remplit à peu près la moitié de la lacune, on verra que de très-étroites fissures dessinent d'avance la circonscription des utricules à venir, et que dans deux des circonscriptions (**) une portion du cambium a déjà disparu. Ces indices me portent à croire qu'ici le tissu cellulaire mamelonné pourrait bien se former par l'union d'un certain nombre de globules de cambium qui constitueraient les cloisons, tandis que les autres globules seraient résorbés. Nul doute que dans ce cas le procédé de la Nature, pour arriver à la formation des lames vasculaires, n'a rien de commun avec ce que j'ai vu précédemment. En effet, si l'on consulte la figure 31 (pl. VI), dessinée d'après un fragment d'une racine primordiale, on reconnaîtra au premier coup d'œil, pour peu qu'on ait quelque habitude des recherches organogéniques, que le cambium logé dans les grandes lacunes du pourtour intérieur de la région centrale, et par conséquent destiné à produire des lames vasculaires, est un cambium celluleux et non pas un cambium globulo-cellulaire tel que celui du fragment 39. Je conviens qu'il y a sujet de s'étonner

que deux racines nées sur le même arbre offrent, dans les moyens mis en œuvre pour la formation d'un même organisme, une différence si notable. Mais, sans prétendre expliquer la cause de cette différence, je ferai remarquer qu'il s'en faut bien que les deux racines qui n'ont pas même origine, soient semblables en force et longévité. L'une, que j'appelle *primordiale* parce qu'étant la continuation de la radicule elle est de fait la plus ancienne, a une constitution chétive et meurt après deux ou trois mois d'existence ; l'autre, que j'appelle *auxiliaire* parce qu'elle vient au secours de l'arbre qui ne pourrait végéter sans elle, naît sur la partie inférieure du stipe, croît avec vigueur et se maintient en santé pendant longues années.

PLANCHE IX.

Il ne suffit pas d'étudier l'organisme végétal sur des coupes transversales ; ce n'est que la moindre partie du travail. L'examen de la coupe verticale, bien plus difficile, est indispensable pour quiconque veut arriver à la juste appréciation des faits. J'ai choisi une racine dont l'âge physiologique différait peu, en plus ou en moins, de celle qui a servi de modèle à la figure 43, planche VIII.

Fig. 44. J'ai fait passer le scalpel par un plan vertical qui partageait en deux, dans sa longueur, une lame vasculaire convergente (fig. 44 *x*), semblable à celle de la figure 43 *x*, et, au moyen d'une seconde coupe faite sur l'une des deux moitiés, j'ai obtenu un fragment très-mince de la lame convergente et des vieilles utricules complexes, régulières (*ucr*) ou anomales (*uca*) qui la limitaient vers la circonférence et vers le centre.

Fig. 45. Pareille opération pratiquée sur une lame convergente, différant à peine de celle qu'on voit figure 43 *y*, m'a donné la coupe 45 *y* qui est par conséquent plus développée que la lame précédente.

Fig. 46. Pour dernière épreuve, j'ai attaqué une vieille lame convergente qui correspondait parfaitement, par ses caractères organiques, à la vieille lame *z* de la figure 43.

Le but que je me suis proposé en me livrant à ce travail, était de prouver derechef, par des faits nouveaux, que la jeune lame à gauche, figure 44 *x*, était en voie de passer à l'état de la lame à droite, figure 45 *y*, et que cette dernière ne tarderait pas à revêtir les caractères de la lame 46 *z*, qui paraît avoir atteint le dernier degré de développement dont elle était susceptible.

J'espère que les explications que je vais donner sur ces trois figures justifieront ma manière de voir, bien qu'elle ne s'accorde guère avec celle de quelques phytologistes qui, faute d'avoir suivi la marche graduelle des développements, ont pris les scalariformes naissants pour des laticifères.

A gauche, la figure 44 nous offre deux rangs d'utricules simples (*us*), allongées et irrégulières. Elles appartiennent à la région intermédiaire (*ri*). La paroi membraneuse de chacune d'elles est parsemée de taches grises le plus souvent arrondies, lesquelles sont entourées plusieurs ensemble d'une trace également grise.

A la droite des deux rangs d'utricules est une petite portion du fourreau cannelé (*fc*). On y peut remarquer la disposition très-irrégulière des cloisons développées dans la cavité des utricules qui le constituent.

A la suite, et par conséquent à droite, sont trois séries d'utricules complexes, irrégulières et pertuisées. Je les ai désignées sous le nom d'anomales (*uan*), faute d'avoir pu découvrir un trait caractéristique qui les signalât mieux. Le fait est que cette sorte d'utricule que j'ai observée maintes fois dans différents végétaux et dans des positions bien diverses, ne doit pas être confondue avec les utricules complexes juxtaposées (*ucj*) dont se composent les parties ligneuses. J'ai été tenté quelquefois de croire qu'elles faisaient l'office d'organes excrétoires; maintenant je me borne à les décrire sans les expliquer.

Avant d'aller plus loin, je dois faire remarquer que les trois parties que je viens de passer en revue sont de formation ancienne.

Viennent après, dans cette figure 44 (*), et toujours à droite, des utricules simples, polyèdres, allongées en tube et tachetées. La grande transparence et l'extrême minceur de leurs parois membraneuses attestent qu'elles font partie d'une formation très-jeune. Il n'est pas difficile de reconnaître qu'elles sont dans les mêmes conditions anatomiques et physiologiques que celles qu'on voit dans la figure 43 *x*, nonobstant l'aspect différent que présentent les deux coupes, l'une verticale, l'autre trans-

versale. Comme cette dernière, elles sont limitées à droite, dans la figure 44 *x*, par des utricules complexes, allongées, régulières et pertuisées, qui offrent, à ne s'y pas méprendre, tous les caractères des bois parfaits. Que si nous examinons plus attentivement ces utricules (*x*) de formation récente, nous trouvons qu'en général leur calibre va s'accroissant de gauche à droite, ou, en d'autres termes, de la circonférence de la région centrale à son centre géométrique. Nous remarquons en outre que les utricules de la gauche sont plus régulières que les autres, et que dans ces dernières, dont les parois sont plus ou moins ondulées, les taches grises sont semées sans aucun ordre, tandis que nous apercevons déjà dans la paroi de l'une des utricules à gauche, des taches grises allongées transversalement et disposées les unes au-dessus des autres, comme les barreaux d'une échelle, arrangement symétrique qui devient un indice infaillible de modifications plus notables et très-prochaines, ainsi qu'on ne tardera pas à s'en convaincre.

Mais, pour procéder avec ordre, portons maintenant notre attention sur la figure 45. On ne saurait nier qu'elle n'ait beaucoup de ressemblance avec la figure 44. A l'extrême droite sont les dernières utricules de la région intermédiaire (*ri*), puis les utricules du fourreau cannelé (*fc*), et finalement les utricules anomales (*uan*). A l'extrême gauche sont de longues utricules complexes, pertuisées et ligneuses. Entre ces deux limites se place une série d'utricules allongées et jeunes encore. Un observateur superficiel pourrait n'y voir aucune différence avec les utricules correspondantes de la figure 44; cependant il en existe plusieurs et même de très-significatives. Les utricules, au lieu de rester molles, ont acquis une certaine fermeté. Leurs parois étaient ondulées, elles sont devenues régulières et rectilignes. Et ce qui est plus remarquable, c'est que les taches presque partout ont changé de position et de forme. Elles ne sont plus arrondies et distribuées comme au hasard, elles se dessinent très-nettement sur les parois, en petites bandes horizontales.

On sait déjà que la figure 46 a été dessinée d'après un fragment vertico-radial d'une très-vieille racine, et que ce fragment reproduit, sous un nouvel aspect, la lame scalariforme *z* de la figure 43. J'ajouterai qu'il s'étend depuis la périphérie de la région centrale (*rc*) jusques et y compris les utricules simples qui occupent le centre.

Je me suis assuré, par des observations directes, que les vieux vaisseaux scalariformes que nous voyons ici, sont le même organisme que celui qui est représenté par les jeunes utricules allongées des figures 44 et 45. Aussi ne fais-je de doute que l'âge plus ou moins avancé ne soit l'unique cause des différences que nous remarquons entre ces jeunes utricules et les vieux vaisseaux. C'est pourquoi je n'hésite pas à donner par anticipation le nom de lame vasculaire convergente (*lvc*) à la série de ces jeunes utricules dans lesquelles on n'a voulu voir que des vaisseaux du latex. Mais en matière de science il ne suffit pas d'affirmer, il faut produire des faits. J'offre donc pour exemple les petits vaisseaux scalariformes (*ps*) de la figure 46, et les utricules indiquées sous les mêmes lettres, dans les figures 44 et 45. Il n'est pas douteux qu'entre ces utricules et ces vaisseaux la position ne soit semblable et les formes identiques. En effet, les utricules et les petits scalariformes s'appuient également dans les trois fragments 44, 45 et 46, contre les utricules anomales, et affectent la forme polyédrique. Toutefois, ces fragments étant d'âges différents, se distinguent par des modifications sinon semblables, du moins comparables jusqu'à certain point, à celles que le temps amène dans tout être organisé. Ainsi les utricules qui composent les petits scalariformes de la figure 46 sont complexes (*uc*), et leurs facettes sont fendues horizontalement à égales et courtes distances, de manière à ressembler à des échelles en miniature; tandis que les utricules des figures 44 et 45 sont simples (*us*) et parfaitement closes. Mais ce qui mérite toute notre attention, c'est que les taches des utricules de la figure 45 sont distribuées sur les facettes précisément comme les fentes des petits scalariformes de la figure 46; et il devient évident, non moins par l'observation que par l'analogie, que, dans ce dernier fragment, les fentes ont été devancées par des taches échelonnées et se sont substituées à elles. Qu'est-ce donc que ces taches? Rien n'indique qu'elles soient dues à la formation d'une matière colorante. Il y a sujet de croire qu'elles ont pour cause un dérangement local dans les molécules constituantes des parties affectées, dérangement d'où résulte l'abolition de la transparence de la membrane partout où il a lieu. Les taches sont donc le symptôme d'une maladie, mais de l'une de ces maladies périodiques et passagères qui préparent et provoquent un changement notable, une sorte de révolution dans l'organisme, et, par

conséquent, de nouveaux phénomènes anatomiques et physiologiques.

L'existence des taches sur les membranes ne détermine pas toujours la formation de fentes ou pertuis. Les utricules simples de la région intermédiaire (*ri*) des figures 44, 45 et 46 sont parsemées de taches; on peut aussi en observer bon nombre dans les utricules simples (*us*) du centre de la région centrale (*rc*); et, ce nonobstant, les unes et les autres restent closes. Qu'en conclure, si ce n'est qu'ici, comme il arrive dans beaucoup d'autres cas, l'affection morbide commence, puis s'arrête court sans avoir produit de changements notables?

Les modifications qui amènent insensiblement les utricules à l'état de scalariformes grands ou moyens, ne diffèrent point de celles qui changent les utricules en petits scalariformes. Cela était facile à prévoir, mais avant de l'affirmer je m'en suis assuré par des observations directes.

Dans l'explication que j'ai donnée de la figure 41 (pl. VII), on a vu comment les parois des scalariformes deviennent complexes. Le procédé par le moyen duquel la stratification s'opère est tout autre que pour les utricules allongées qui constituent la partie la plus solide du corps ligneux. Dans celles-ci, le travail se fait par dépôts successifs de couches de cambium amorphe (*ca*). C'est la partie de cette matière organisatrice la plus voisine de la paroi qui commence; vient après celle qui est au-dessous, et la stratification continue de même jusqu'à l'épuisement complet du cambium. Dans les scalariformes naissants (il est à propos de le rappeler), le cambium joue aussi un grand rôle, mais ce n'est pas un cambium amorphe (*ca*) comme dans les utricules du corps ligneux, c'est un cambium celluleux (*cc*). Il remplit à certaine époque la cavité des jeunes scalariformes. Vers la partie centrale, l'une de ses cellules passe à l'état d'utricule, laquelle contient aussi du cambium celluleux. Celui-ci donne à son tour naissance à une nouvelle utricule, et ce phénomène se répétant plusieurs fois, toutes ces utricules, nées l'une dans l'autre, grandissent et vont s'appliquer, la première, contre la paroi du scalariforme; la seconde, contre la paroi de la première, et ainsi des autres; d'où il suit que les utricules complémentaires de chaque scalariforme sont toutes d'âges différents et placées l'une sur l'autre par ordre d'ancienneté, de sorte que la plus extérieure est la plus vieille, et la plus intérieure la plus jeune. Mais il est fort difficile, même pour l'observateur le plus exercé,

de reconnaître sur une coupe verticale si le fragment du scalariforme présente à l'œil sa face extérieure ou sa face intérieure.

Ce n'est pas la seule difficulté qui naisse de ces recherches. Le contact immédiat des membranes qui constituent les parois vasculaires, leur minceur et surtout leur extrême transparence, sont cause que souvent, avec les verres les plus puissants, les caractères distinctifs des différentes membranes paraissent comme les attributs d'une membrane unique. Cependant si l'on multiplie les coupes, il n'est pas sans exemple, comme j'ai eu l'occasion de le constater, que les membranes taillées irrégulièrement soient dépassées les unes par les autres, ce qui fournit une preuve aussi évidente de la pluralité des membranes que si l'on eût assisté à leur formation, ou qu'on les eût observées toutes formées, sur des coupes transversales. Le fragment du grand scalariforme (*gs* *) placé à droite justifie ce que j'avance. Que l'on jette les yeux sur la partie que le scalpel a épargnée, on remarquera à la superficie quatre séries de traces oblongues que je désignerai sous le nom de boutonnières, attendu qu'aucun mot, que je sache, n'en fait si bien comprendre la forme et la disposition. Que l'on emploie de fortes lentilles pour ces recherches, on ne tardera pas à découvrir dans la première boutonnière une boutonnière plus petite, et, dans celle-ci, une plus petite encore. Telles sont les apparences; c'est à nous de les interpréter. Je dis que ces trois boutonnières nous révèlent ici la présence de trois membranes stratifiées, pourvues d'ouvertures de grandeur inégale, lesquelles se correspondent et communiquent ensemble. Voici sur quoi je fonde mon opinion : A la partie supérieure du fragment, je remarque, en *a*, à gauche un lambeau de l'une des trois membranes que le tranchant du scalpel a isolé des deux autres. Ce lambeau est évidemment la continuation de la membrane à grandes boutonnières. Quatre de celles-ci sont intactes; quatre autres, déchirées en travers, simulent des dents de scie. A la vue des unes et des autres, il ne m'est pas même venu la pensée d'élever le moindre doute sur l'existence des ouvertures, non plus que sur la pluralité des membranes qui constituent la paroi des scalariformes, tant ces faits sont évidents; et l'observation directe aussi bien que l'analogie, m'a prouvé que les traces de moyennes et petites boutonnières qui se montrent sur les deux autres membranes, sont aussi des indices certains de la présence d'ouvertures.

Une autre preuve non moins convaincante est celle que je tire du grand scalariforme (*gs* **) placé dans la figure 46, à quelque distance à gauche du précédent (*gs* *). En *b* on retrouve encore trois boutonnières inscrites l'une dans l'autre. Le fragment *c* offre un lambeau qui diffère peu de la partie supérieure du lambeau *a* (*gs**). Plus bas, sont les lambeaux *d*, *e*, *f* qui décèlent la superposition des membranes et les différents caractères qui les distinguent. Je ferai remarquer, à ce sujet, que la membrane *f*, couverte de taches grises, est d'une délicatesse extrême et, très-certainement, de formation récente. La grande transparence des membranes et leur superposition sont manifestes dans les membranes *g* et *h* et *i* et *j*.

Je ne dis rien des autres caractères de la figure 46. On les retrouve dans des figures dont j'ai déjà donné l'explication ; et d'ailleurs chacun d'eux est signalé par des combinaisons de lettres dont, par avance, j'ai défini le sens aussi clairement qu'il m'a été possible.

PLANCHE X.

Fig. 47 et 48. A l'aspect de ces deux figures on pourrait être tenté de croire que je les offre ici comme transition immédiate entre les figures 44 et 45 d'un côté, et la figure 46 de l'autre (pl. IX) ; mais telle n'est pas mon intention. Les figures 44 et 45, nonobstant l'état naissant de leurs lames vasculaires, appartiennent à deux portions de très-vieilles racines, tandis que les figures 47 et 48 représentent deux fragments de racines, dont l'un est très-jeune (47) et l'autre un peu plus âgé (48). La preuve de la jeunesse de l'un et de l'autre se tire de l'ensemble des caractères des utricules qui, plus tard, constitueront les masses ligneuses, et non de quelques autres caractères considérés isolément.

Les utricules de la figure 47, abstraction faite des petits scalariformes (*ps*), qui, comme je crois l'avoir dit précédemment, ont un développement précoce, sont simples et présentent en général des parois minces et très-transparentes. J'ajouterai que toutes ces utricules sont remplies de cambium globulo-cellulaire (*cgc*) dont la présence est une nouvelle preuve de jeunesse.

Le fragment 48, plus vieux que le 47, est cependant plus jeune que le 46 (pl. IX). A la vérité, les parois de ses utricules ont acquis une notable

épaisseur. Deux membranes, l'une entière, l'autre percée de larges boutonnières, composent ses grands scalariformes; et le fourreau cannelé, dont aucun signe ne révèle l'existence dans la figure précédente, est ici très-visible. Mais ces caractères qui, sans aucun doute, attestent les progrès de la végétation, sont insuffisants pour prouver qu'elle est très-avancée. Le caractère le plus significatif de tous, sans la moindre comparaison, serait la lignification, ou, ce qui est la même chose, la transformation des utricules simples juxtaposées (*usj*) en utricules complexes. Or, on chercherait en vain, dans tout le fragment, une utricule qui fût, je ne dirai point triple, quadruple, quintuple, etc., mais seulement double.

Il n'est pas hors de propos d'ajouter, pour fortifier ce que j'ai dit tout a l'heure touchant les figures 44 et 45, qu'un fragment soit horizontal, soit vertical d'une lame vasculaire, est souvent insuffisant pour indiquer l'âge physiologique de la portion de la racine à laquelle il appartient. En voici la raison : on trouve des lames vasculaires également jeunes dans des fragments de jeunes et vieilles racines; mais toutes ces lames, sans en excepter une seule, sont jeunes dans les jeunes racines, tandis que dans les vieilles elles offrent toujours des caractères qui accusent des âges très-différents, et cela parce que tant que dure la végétation, de nouvelles lames vasculaires viennent s'interposer entre les anciennes.

Après ces généralités, je viens à l'examen de la structure particulière des fragments 47 et 48. Au premier coup d'œil, quoiqu'ils soient jeunes, on y distingue déjà des formations de différents âges. Passons-les en revue, en procédant par ordre, de droite à gauche.

1. Cet organisme, composé d'utricules simples, irrégulières (*usi*), dans lequel on remarque un faisceau de longues utricules attachées bout à bout, appartient en partie, si ce n'est en totalité, à la région périphérique. Il est plus âgé que le reste du fragment, si toutefois on fait abstraction du faisceau d'utricules qui est très-jeune et deviendra plus tard un filet ligneux (*fl*).

2. Voici les petits scalariformes (*ps*). Ils sont plus jeunes que les utricules simples, irrégulières (*usi*) du numéro 1, et ils sont plus âgés que les organismes 3, 5 et 6.

3. Sous ce chiffre est une formation très-jeune, ainsi que l'indique la délicatesse, la transparence, la minceur et la simplicité des parois des

utricules. Cette formation est composée d'un grand scalariforme et d'utricules régulières, allongées, juxtaposées (*usj*), semblables aux utricules que j'ai signalées par les lettres *fl*, dans la région intermédiaire, et qui, comme celles-ci, passeront à l'état ligneux. Le grand scalariforme (*gs*) partage en deux, dans sa longueur, la masse des utricules allongées. Une cloison (*cl*), qui rappelle l'origine utriculaire de ce vaisseau, le divise transversalement.

4. Des utricules allongées qui ne diffèrent que par leur rigidité et leur moindre transparence des utricules précédentes, en marquent la limite. Il est évident que ces dernières sont d'un âge plus avancé. Avant la formation 3, elles étaient en contact immédiat avec les petits scalariformes *ps*, mais la force de végétation ayant imprimé un mouvement centrifuge à ces vaisseaux ainsi qu'à toutes les parties situées en avant d'eux, l'espace qu'ils ont laissé libre s'est rempli de cambium qui a donné naissance à la formation 3.

5. Cette cinquième formation, plus jeune que celle qui est placée sous le chiffre 6, doit, comme la quatrième, son existence au retrait des parties situées en avant et à la production du cambium.

6. Les utricules, sous ce numéro, peu différentes de celles du numéro 4, se sont à leur tour éloignées du centre.

7. Et ces utricules, grâce à la production de la matière organisatrice, ont été remplacées par de jeunes utricules régulières, allongées et juxtaposées (*usj*).

8. Quelques explications touchant le fragment 48 vont terminer mes *Études anatomiques et physiologiques sur la racine du Dattier*. Il est bien entendu que ce fragment est un peu plus âgé que le 47e. J'ai indiqué précédemment à quel caractère on reconnaît cette différence d'âge. Revenir sur ce sujet serait superflu; mais j'ai observé dans les deux grands scalariformes (*gs* gs—***), deux faits dont je n'ai pas encore entretenu le lecteur, et pour lesquels je réclame son attention.

Je commence par le grand scalariforme à gauche (*gs **). Il se compose évidemment de deux membranes : l'une qui, je pense, est l'extérieure, est probablement aussi la plus âgée. Elle se fait remarquer par quatre séries *w* de fentes en boutonnières, à travers lesquelles on aperçoit l'autre membrane semée de taches grises qui correspondent aux ouvertures. Ces

taches, comme l'on sait, indiquent dans l'épaisseur de la membrane un travail moléculaire d'où résulte l'amincissement progressif de la membrane, et finalement des trous.

Le grand scalariforme à droite (*gs* **) m'a présenté un fait que j'avais vu souvent sans y attacher la moindre importance; mais, cette dernière fois, une circonstance particulière a appelé sur ce fait toute mon attention. Des corpuscules microscopiques *x*, ressemblant par la forme à des brins de fil très-courts et très-menus, ressemblant par la matière à la substance de la membrane végétale, étaient épars sur la paroi du scalariforme et sur le porte-objet du microscope. Ceci était nouveau pour moi. D'où les corpuscules provenaient-ils? C'est ce que je me demandai; je ne tardai pas à l'apprendre. Entre les séries de boutonnières il y avait comme de petites épaisseurs disposées longitudinalement à la suite les unes des autres. J'avais pensé jusqu'alors que c'étaient de simples renflements de la membrane; mais la découverte des corpuscules libres me prouva que ce que j'avais pris pour des renflements n'était autre que ces corpuscules eux-mêmes appliqués sur la paroi du scalariforme. En effet, il m'a suffi d'agiter le fragment pour détacher les petits corps. Chacun d'eux, en se retirant, laissa sur la membrane une empreinte visible (*y*). J'ai observé, en outre, qu'il n'était pas sans exemple que les petits corps se disposassent en ligne horizontale entre deux boutonnières, de manière à rattacher l'une à l'autre deux séries longitudinales séparées par une seule rangée de boutonnières (*gs* * *z*).

Que conclure de ces observations pour expliquer l'origine et la nature de ces corpuscules? Ce n'est qu'avec une extrême méfiance de moi-même que je hasarderai l'hypothèse suivante. Ces corpuscules sont les restes d'une utricule qui a commencé le grand scalariforme, et qui, ne pouvant s'accroître à proportion de l'extension que prenaient les utricules intérieures, s'est divisée en petits fragments dont la forme régulière et l'agencement symétrique font assez connaître que ce phénomène s'est accompli sous la double influence d'une force mécanique et de la puissance végétative.

Fig. 49. Cambium globulo-globulaire (*cgc*) très-grossi.

ETUDES ANATOMIQUES

ET PHYSIOLOGIQUES

SUR LA RACINE DE L'*AGAVE AMERICANA*, DU *CALLADIUM PINNATIFIDUM*, DU *VANILLA AROMATICA*, DU *PANDANUS AMARYLIFOLIUS* ET DU *DRACOENA DRACO*.

Après avoir étudié l'organisation de la racine du Dattier avec toute la persévérance dont je suis capable, j'ai pensé qu'il serait bon d'examiner si la structure de la racine de quelques autres espèces se rattachant, comme le Dattier, à la grande classe des monocotylés, offrait des différences notables. Pour arriver à ce but, je n'avais pas besoin de me livrer à des recherches aussi longues et aussi pénibles que celles que je venais de terminer. Il me suffisait de jeter un coup d'œil sur des coupes transversales de tiges appartenant à des espèces de familles différentes. Les résultats que j'ai obtenus sur cinq espèces, savoir : *Agave americana*, *Calladium pinnatifidum*, *Vanilla aromatica*, *Pandanus amarylifolius* et *Dracœna Draco*, donnent à penser qu'il existe très-probablement dans la grande généralité des racines de monocotylés, des traits de ressemblance que l'on retrouve dans toutes, mais aussi des traits qui ne sont propres qu'à telles ou telles espèces.

La figure 1re représente la coupe horizontale d'une racine dans sa partie jeune. Il n'y a jusqu'à présent nulle trace de la présence de vaisseaux. Toutes ces utricules sont simples. Beaucoup sont remplies de cambium celluleux. Beaucoup aussi contiennent des faisceaux de cristaux en aiguilles.

PLANCHE XI.

Cette planche donne la représentation de la racine de *l'agave americana*.

Fig. 1. Cette coupe a été faite dans la partie de la racine qui commence à prendre une certaine consistance. Par conséquent on ne saurait dire qu'elle appartienne à une formation très-récente, et, moins encore, à une très-vieille formation. Je la divise en trois régions : la périphérique (*rp*), l'intermédiaire (*ri*) et la centrale (*rc*). La région périphérique est formée d'utricules simples disposées en couches plus ou moins régulières. Dans leur première jeunesse, ainsi que je l'ai constaté, ces utricules offraient un tissu cellulaire de transition (*tt*). Il n'en est plus ainsi : les cloisons des cellules contigues se sont dédoublées ; par conséquent chaque utricule se distingue des autres, et, par l'effet de la pression réciproque, toutes sont devenues polygones et se touchent par leurs côtés ; c'est ce que j'appelle des utricules simples juxtaposées (*usj*). Cette région se confondrait avec la suivante, sans la forme plus ou moins irrégulière de ses utricules, et surtout sans leur teinte brunâtre et la rigidité de leurs parois, caractères qui proviennent de l'action incessante des agents extérieurs, lesquels, plus tôt ou plus tard, détruisent ces utricules, que viennent bientôt remplacer les utricules les plus excentriques de la région intermédiaire.

Celle-ci (*ri*) est, à partir de la région périphérique, dans les deux tiers de son épaisseur, composée d'utricules simples (*us*) arrondies plus ou moins, souvent remplies de cambium celluleux (*cc*), et contenant aussi quelquefois, sans qu'il en résulte l'exclusion du cambium, des faisceaux de cristaux (*cr*) en forme d'aiguilles pointues aux deux bouts. Le troisième tiers de cette région est formé, dans sa partie la plus éloignée de la région centrale, et en même temps la plus considérable, d'utricules simples juxtaposées (*usj*) et criblées de pores. Le reste de la région qui touche à la région centrale, est un tissu allongé, de transition (*tal*).

La région centrale est entourée d'un cordon de petites utricules d'une teinte foncée (*). A peu de distance dans l'intérieur se montrent, au milieu d'un tissu allongé de transition (*tt*), des groupes épars d'utricules (**)

teintés comme le cordon. Plus intérieurement, on remarque des vaisseaux naissants (*vn*), souvent pleins de cambium celluleux (*cc*). Ces vaisseaux gisent dans des masses de jeune tissu de transition (*tt*), et ces masses elles-mêmes sont entourées d'un amas d'utricules simples, allongées (*usa*), juxtaposées et fixées, presque toujours irrégulièrement hexagones. Des coupes faites dans des portions plus jeunes de la racine, m'ont induit à croire qu'antérieurement ces utricules (*usa*), maintenant juxtaposées, étaient d'abord un tissu de transition (*tt*) qui recouvrait les vaisseaux. Ce tissu aurait donc été supplanté, si je puis dire, par un tissu plus jeune également de transition (*tt*), lequel se serait placé entre lui et les vaisseaux et se serait accru par degrés.

Fig. 2. Ce fragment est pris dans la portion la plus vieille de la racine. La région périphérique (*rp*) diffère peu de ce qu'elle était antérieurement.

Quant à la région intermédiaire (*ri*), elle a éprouvé des changements notables. La partie de cette région qui correspond aux deux tiers les plus excentriques de la région intermédiaire de la figure 1 (*ri*), est déchirée, desséchée, désorganisée presque en totalité. Le troisième tiers voisin de la région centrale a pris un aspect tout particulier. Les couches d'utricules simples, allongées (*usa*), pertuisées et juxtaposées, indiquées dans la figure 1, reparaissent ici; mais leurs utricules ont bien changé. Elles sont devenues complexes (*uca*) de simples qu'elles étaient. Il y en a de quadruples, de quintuples, de sextuples, peut-être même de décuples, et toutes sont solidifiées par une matière résineuse qui n'empêche pas de voir très-nettement le calibre de l'utricule centrale de chaque utricule complexe, ainsi que les pertuis qui viennent de la circonférence de chacune d'elles, et qui traversent jusqu'au centre, comme des rayons, toutes les utricules emboîtées les unes dans les autres. Au-dessous de ces utricules, injectées par la résine et contiguës à la région centrale, sont deux couches d'utricules simples (*usa*), souvent plus ou moins arrondies, qui sont, sans nul doute, les représentants vieillis du tissu de transition (*tt*), indiqué dans la figure 1 comme terme de la région intermédiaire (*ri*).

J'arrive à la région centrale. Des utricules d'une teinte foncée rangées en cordon ou réunies en petit groupe, que j'ai indiquées dans la figure 1

(*-**), se sont, à l'aide du temps, considérablement multipliées aux dépens du tissu de transition voisin (*tt*), et le tout ensemble a composé cette ceinture d'utricules complexes anomales, lesquelles se font remarquer dans la figure 2 par la variété de leurs formes et le nombre de leurs pertuis (*uan*). Très-peu plus avant vers le centre sont des vaisseaux (*vn*) de nouvelle formation, enveloppés en partie dans un tissu de transition (*tt*), qui se métamorphosera en utricules complexes (*uca*) juxtaposées et pertuisées, semblables à celles qui l'environnent. Alors les vaisseaux, devenus vieux, auront acquis de la consistance, et leurs parois seront pertuisées ainsi qu'on le voit dans les vaisseaux plus intérieurs (*vp*). Ces vaisseaux, qui ont fait partie d'un tissu de transition, ne sont, en réalité, que de grandes utricules ajustées bout à bout, mais qui finissent par devenir des canaux continus par la destruction partielle ou totale des cloisons qui interrompaient la cavité.

Fig. 3. Cette figure représente une coupe vertico-radiale de la racine, à peu près à la hauteur où a été faite la coupe horizontale figure 2.

On conçoit que cette coupe (j'entends la coupe verticale) n'est pas venue tout d'une seule pièce sous le fil du scalpel, comme je l'offre ici. Il a fallu rapprocher plusieurs fragments pour la composer. Mon intention, en donnant cette figure, est uniquement de mieux faire connaître la forme et l'agencement des diverses parties que j'ai montrées d'abord sous un point de vue différent, dans la coupe horizontale. En effet, les utricules dont nous avons dessiné les orifices d'après la coupe horizontale, sont représentées sur la coupe verticale, allongées dans le sens de la longueur de la racine. Ces utricules sont généralement régulières, mais il y a quelques exceptions. C'est ce qu'on peut remarquer dans la région intermédiaire (*ri-usi*) et dans la ceinture d'utricules anomales criblées de pores de la région centrale (*rc-uan*). Je dois prévenir le lecteur que cette irrégularité n'est pas toujours suffisamment accusée dans le dessin ; mais ce qui est bien indiqué, c'est le peu de longueur que prennent ces utricules. La régularité est constante dans les utricules complexes, allongées (*uca*), solidifiées par la résine, lesquelles viennent immédiatement après la partie la plus excentrique de la région intermédiaire (*ri*). On voit parfaitement sur la coupe longitudinale les petits canaux qui établissent la communi-

cation du centre à la circonférence, et se montrent sur la coupe horizontale comme les rayons d'une roue. Le parallélisme entre ces canaux, vus sur la coupe longitudinale, est le cas le plus ordinaire. Toutefois, il n'est pas sans exemple que deux canaux voisins s'inclinent l'un vers l'autre et finissent par se joindre, de sorte que les deux orifices se confondent en un seul.

Je m'abstiens de parler ici de la structure de la région centrale (*rc*). Ce que j'en dirais ne pourrait être que la répétition de ce que j'ai déjà dit au sujet de la figure 2. Les mêmes lettres, combinées de la même manière dans les deux figures, indiquent suffisamment la concordance qui existe entre elles.

PLANCHE XII.

Fig. 1. Coupe horizontale du *Calladium pinnatifidum.*

La région périphérique (*rp*) est revêtue à sa circonférence d'une membrane formée d'une seule couche d'utricules simples. Cette membrane peut être considérée comme une sorte d'épiderme. Elle ne ressemble nullement par sa structure à la partie qu'elle recouvre et qui se compose de cinq ou six couches d'utricules complexes, juxtaposées (*ucj*). Immédiatement au-dessous sont deux ou trois couches d'utricules simples, allongées dans la direction tangentale et comme comprimée.

La région intermédiaire (*ri*) est, dans sa partie voisine de la circonférence, un simple tissu de transition (*tt*). A la suite de ce tissu vient encore un tissu de transition, et celui-ci est pourvu de méats (*m*). Après, sont des utricules arrondies plus ou moins (*uar*), et qui adhèrent les unes aux autres par les points de contact. Elles s'étendent jusqu'à la région centrale (*rc*). Quelques filets ligneux se montrent çà et là parmi ces utricules. Si l'on jette les yeux sur les deux filets *k* et *w* qui sont les plus voisins de la région périphérique (*rp*), on aperçoit au centre de l'un et l'autre un tissu de transition (*tt*), et à leur circonférence, des utricules juxtaposées, lesquelles sont simples (*usj*) dans le filet *k*, et sont complexes (*ucj*) et pertuisées dans le filet *w*; ce qui donne à penser que la lignification des

filets s'opère ici graduellement de la circonférence au centre. Cette présomption acquiert tous les caractères de l'évidence quand on porte ses regards sur la partie de la région intermédiaire (*ri*) qui touche à la région centrale. En effet, les filets *x*, *y*, *z* cantonnés dans cette partie complètent admirablement la démonstration, puisqu'ils offrent à l'observateur la transformation graduelle des utricules simples et closes en utricules complexes et pertuisées.

La région centrale est entourée d'une ceinture composée d'utricules complexes (*uc*), laquelle ne diffère guère de celle de la région centrale de l'*Agave americana*. En dedans de cette ceinture sont des séries de petits, moyens et grands vaisseaux (*v*), qui rappellent jusqu'à certain point les lames vasculaires de la racine du Dattier. Entre ces séries de vaisseaux se montrent des lames de jeunes utricules destinées à former d'autres séries de vaisseaux, et tout l'espace que n'occupent point les lames vasculaires et utriculaires, est rempli d'utricules complexes juxtaposées (*ucj*) et pertuisées.

Je ne dois pas oublier de dire que souvent le calibre des vaisseaux est obstrué par des utricules zonées ou pertuisées (*vob*). Ces utricules dont j'ai autrefois signalé l'existence dans la tige du *Convolvulus nervosus*, n'interceptent pas les communications, mais les rendent moins faciles.

Fig. 2. — Coupe horizontale du *Vanilla aromatica*.

J'accepte, faute de mieux, pour région périphérique (*rp*) ces deux couches d'utricules qui enveloppent la région intermédiaire et pourraient peut-être, à bon droit, recevoir le nom d'épiderme. Les utricules arrondies qui constituent la couche extérieure, offrent ce caractère remarquable que la portion de leurs parois placée en dehors, est simple, tandis que la partie qui regarde l'intérieur est complexe. La seconde couche d'utricules offre un phénomène, sinon tout à fait semblable, du moins analogue. Enfin nous retrouvons autour de la région centrale (*rc*) une couche utriculaire qui ne diffère en rien de celle de la couche périphérique. Ces formations, qui font exception à la loi commune, résultent, comme je m'en suis assuré, de ce qu'ici le cambium ne produit que des moitiés d'utricules, lesquelles se superposent les unes aux autres. Et, chose non moins étrange, c'est que lorsque l'œuvre organique est terminée, il se trouve que les demi-utri-

cules superposées sont pénétrées d'une résine rouge qui les unit ensemble et les solidifie. Nul doute que cette résine ne soit sécrétée par le cambium naissant, qui, dans ce cas, comme dans beaucoup d'autres, fait fonction de corps glanduleux, ainsi que nous l'avons constaté, M. Payen et moi.

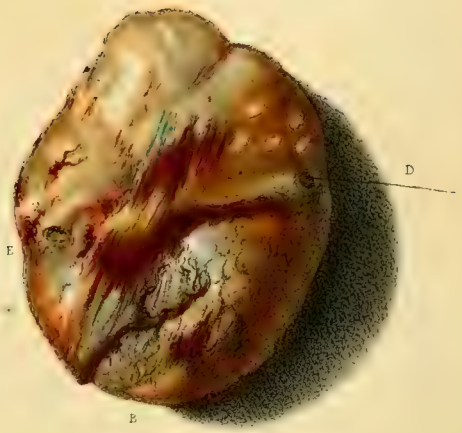
La partie la plus excentrique de la région intermédiaire offre un simple tissu cellulaire de transition (*tt*). Vient ensuite un tissu de transition avec méats (*ttm*). Puis, jusqu'à la couche d'utricules demi-complexes (*udc*) exclusivement, sont des utricules simples (*us*) grandes ou petites, plus ou moins arrondies (*uar*), contenant des sphérioles (*sp*) et des cristaux (*cr*) d'oxalate de chaux en forme d'aiguille.

La région centrale (*uc*) commence par la couche d'utricules demi-complexes (*udc*). Au-dessous sont deux ou trois couches d'utricules anomales (*uan*) pertuisées, et au-dessous de ces couches est un très-grand nombre d'utricules complexes, juxtaposées (*ucj*), pertuisées, qui constituent presque en totalité la région centrale. Ici, comme dans le *Calladium*, et je pourrais dire aussi dans l'*Agave*, le *Pandanus*, le *Dracœna*, il n'existe point de centre organique qui se distingue par un caractère quelconque. De petits, moyens et grands vaisseaux pertuisés (*v*) sont distribués à peu de distance au-dessous des deux ou trois couches d'utricules (*uan*) qui commencent la région. Entre ces vaisseaux, que l'on peut comparer aux petits, moyens et grands scalariformes de la racine du Dattier, on remarque, au milieu des utricules complexes, juxtaposées (*ucj*), des amas de tissu cellulaire de transition (*tt*), qui plus tard deviendront des lames vasculaires.

Fig. 3. — Coupe horizontale de la racine du *Pandanus Amaryllifolius.*

Fig. 4. — Coupe horizontale de la racine du *Dracœna Draco.*

Ces deux figures 3 et 4 ont tant d'analogie avec les précédentes, dont j'ai décrit l'organisme dans les moindres détails, que pour ne point fatiguer le lecteur par d'inutiles redites, je termine ici mes *Études anatomiques et physiologiques.*



A. Face externe ou antérieure.
C. Orifice du canal salivaire

B. Face interne ou postérieure
D. Meme orifice.
E. Extrémité coupée de l'artère carotide externe.

N.H.Jacob del. Lith. de A. Godard Ed. Robert Sourd-muet lith

MÉMOIRE

SUR

L'EXTIRPATION DES GLANDES

SALIVAIRES

(LA PAROTIDE ET LA SOUS-MAXILLAIRE),

NECESSITÉE PAR L'ENGORGEMENT SCROFULEUX ET SQUIRREUX DE CES GLANDES.

PAR M. LE BARON LARREY.

Lu dans les séances des 26 juillet et 9 août 1842.

Bien que la connaissance de la maladie scrofuleuse ou des écrouelles remonte aux temps les plus reculés, les auteurs qui ont écrit sur cette maladie, depuis Hippocrate jusqu'à nos jours, ne s'accordent nullement sur son vrai caractère; et tous en effet ont émis des opinions diverses sur la nature, sur les symptômes ou phénomènes qui l'accompagnent, sur son étiologie, sur sa marche, sur ses effets et sur sa thérapeutique.

C'est cette diversité d'opinions, et surtout la difficulté qu'on a toujours rencontrée pour en obtenir la guérison, qui ont fait naître tant de préjugés dans l'esprit du vul-

gaire, et même dans celui de quelques médecins en réputation. Enfin, on a vu quelquefois les individus atteints de scrofules être abandonnés aux seules ressources de la nature ou confiés à la puissance magnétique de certains rois de France et d'Angleterre; car les historiens rapportent, à ce sujet, des cures merveilleuses ou de prétendus miracles qui se seraient opérés pendant les XI^e^, XII^e^, XIII^e^, XIV^e^ et XV^e^ siècles, par la seule application des mains de ces monarques sur le corps des scrofuleux.

On était encore presque à ce degré de superstition et de crédulité, lorsqu'en 1751 l'illustre Académie de chirurgie proposa, pour le prix qu'elle décernait annuellement, une question sur les scrofules ou la maladie scrofuleuse. Mais ce corps savant, loin d'obtenir une solution claire, précise et satisfaisante sur cette question, l'a laissée au contraire s'obscurcir; et l'on peut dire que la thérapeutique de cette maladie est restée dans l'état d'empirisme où elle était avant le jugement de l'Académie. Les concurrents au prix qu'elle a décerné ont plutôt jeté le découragement chez les jeunes praticiens, par la critique qu'ils ont faite de certains moyens thérapeutiques, conseillés cependant par beaucoup d'auteurs recommandables, et auxquels, en effet, nous avons reconnu une grande efficacité. Tels sont, par exemple, les ventouses scarifiées posées sur les tumeurs mêmes, la cautérisation et l'extirpation des glandes conglomérées, destinées à la sécrétion de la salive, envahies par cette affection scrofuleuse, opération que ces auteurs déclarent être impraticable ou ne pouvoir se faire sans danger pour la vie des personnes qui la subiraient. A l'appui de leur jugement ils citent plusieurs accidents funestes, qu'on a vus survenir

pendant ou immédiatement après l'extirpation de ces corps glanduleux. On a même prétendu que des chirurgiens habiles, déclarant l'avoir pratiquée avec succès, s'étaient néanmoins mépris sur le vrai caractère des tumeurs extirpées, et qu'ils avaient pris pour des glandes conglomérées celles qui étaient produites exclusivement par des ganglions lymphatiques.

Nous ne chercherons pas à analyser ces diverses opinions, nous n'entrerons même dans aucun détail sur l'histoire de la maladie scrofuleuse : cependant, avant de traiter l'objet spécial de ce Mémoire, nous exposerons très-brièvement les principaux symptômes qui caractérisent cette affection grave, et nous tâcherons d'en faire connaître les principales causes.

Il est bien évident qu'elle reconnaît pour cause immédiate, la présence dans le système général de l'individu qui en est atteint, d'un principe morbifique (*sui generis*), lequel nous paraît avoir une grande analogie avec le virus syphilitique, malgré l'opinion contraire de quelques auteurs; car, si l'on suit attentivement la marche de ces deux affections, on peut se convaincre que leurs effets sur les divers tissus où ils se développent sont à peu près les mêmes dans l'une et l'autre de ces maladies. Ces effets se concentrent principalement dans les appareils glanduleux, sur les membranes fibreuses et même sur les os, de manière à en altérer les substances : ainsi, ces membranes se gonflent, se tuméfient et s'ulcèrent, les os se ramollissent, se déforment en divers sens, ce qui caractérise le rachitis (1).

(1) Voyez l'histoire de cette affection dans le 4[e] volume de ma *Clinique chirurgicale*.

Comment se manifestent ces phénomènes? Le principe morbide paraît d'abord coaguler les fluides qui circulent si lentement dans les capillaires organiques de ces tissus blancs; ces appareils grossissent graduellement ou progressivement, et produisent une exubérance plus ou moins apparente dans les régions où se trouvent les glandes lymphatiques. La marche ou le développement de ces tumeurs se fait presque toujours sans douleur sensible, ce qui fait croire au vulgaire que cette maladie n'offre rien de fâcheux, et il reste dans une parfaite sécurité.

Indépendamment de la transmission du principe morbifique des parents ou de la nourrice aux enfants, ce qui ne peut être contesté, un grand nombre d'autres causes peuvent concourir à la formation et au développement de cette maladie : tels sont l'usage intérieur des viandes salées, enfumées, de substances incrassantes, farineuses, de mauvaises liqueurs non fermentées, le séjour prolongé des jeunes individus dans les lieux froids, humides et marécageux.

Le pronostic en sera plus ou moins fâcheux, selon le degré où le mal est parvenu, selon l'âge du sujet, le sexe, et la nature des parties lésées.

Deux indications se présentent dans le traitement général de cette maladie : l'une consiste à détruire autant que possible la cause morbide prédisposante que le médecin découvre constamment chez tous les malades, lorsqu'il porte dans ses investigations une attention scrupuleuse ; et l'autre, à en attaquer les effets par tous les moyens propres à opérer la résolution des tumeurs dont nous avons parlé.

Le remède le plus propre à combattre cette cause morbifique intérieure ou constitutionnelle, qui paraît avoir pris

naissance dans la syphilis elle-même, est le mercure, préconisé par le célèbre Huffeland, premier médecin du roi de Prusse (1). Du reste, cette substance doit être administrée avec la sagesse et les précautions convenables : elle a, en effet, la propriété d'augmenter l'action et le ressort des vaisseaux capillaires organiques des tissus blancs, de fluidifier la lymphe épaissie qui les obstrue, et d'accélérer ainsi la circulation centrifuge.

Peut-être aussi cette substance a-t-elle encore la propriété de neutraliser ce principe morbifique, que nous croyons de nature acide (c'est à nos célèbres chimistes à faire des recherches pour connaître la nature de ce virus). Il est certain que toujours nous avons employé le mercure dans ces affections, avec un succès plus ou moins complet, soit seul, soit combiné avec les amers et les alcalins. Quant aux effets des scrofules, on ne peut établir de règles générales de thérapeutique; elles doivent être relatives au siége et à la nature des symptômes qui en dépendent. Ainsi, en parlant des maladies des articulations, désignées sous le nom de tumeurs blanches, produites par l'idiosyncrasie scrofuleuse du sujet et autres causes concomitantes, nous pouvons dire avoir tracé une thérapeutique rationnelle, propre à la guérison de ces maladies, même lorsqu'elles sont accompagnées de la dissolution des cartilages articulaires et de la carie des os. On trouvera un grand nombre d'exemples de succès remarquables que nous avons obtenus à l'aide de cette thérapeu-

(1) Voyez le *Traité de la maladie scrofuleuse*, par ce médecin, traduit de l'allemand par M. le docteur Bousquet, membre de l'Académie royale de médecine.

tique dans mon ouvrage précité. Je présenterai aujourd'hui, comme l'un des exemples très-frappants de ces succès, une dame qui était à la veille d'avoir la cuisse coupée, pour une maladie de ce genre au genou, et que j'ai eu le bonheur de conduire à la guérison par le traitement que nous avons mis en usage contre la fémoro-coxalgie et autres maladies articulaires de la même nature. Voyez ces maladies dans le troisième volume dudit ouvrage (1).

---

(1) Nous joignons à ce travail l'observation détaillée de ce fait remarquable :

Observation. — Le sujet de cette observation est une dame âgée de quarante ans, nommée Mallet, d'une idiosyncrasie lymphatique ou strumeuse, atteinte, au genou droit, d'une tumeur blanche portée au plus haut degré. Cette articulation était considérablement tuméfiée, sa périphérie était inégale, bosselée, d'un rouge bleuâtre, parsemée de veines dilatées, offrant des points de fluctuation sensibles sur les côtés de la rotule, qu'on sentait à peine au centre de cette tuméfaction. D'autres points très-exubérants et d'une très-grande densité occupaient le reste de cette tumeur, qu'on pouvait comparer à la tête d'un enfant.

La jambe était à demi fléchie sur la cuisse, et les moindres mouvements qu'on faisait exécuter au premier membre causaient les plus vives douleurs. Tout le tissu cellulaire de la cuisse était induré; la malade était dans un état fébrile permanent, très-amaigrie et privée de sommeil; enfin, tout annonçait dans cette articulation, avec l'inflammation chronique et l'épaississement de l'appareil fibro-synovial, la dissolution ou la vermoulure des cartilages interarticulaires et diarthrodiaux, et un commencement de carie aux surfaces osseuses de cette articulation.

D'ailleurs, cette pauvre dame était dans une situation extrêmement pénible, logée dans un cabinet sans feu, au sixième étage, et dépourvue de toute espèce de ressources. Aussi, dans une visite faite par le chirurgien en chef de l'un des principaux hospices de Paris, à la sollicitation

Nous supposons maintenant que cette maladie concentre

---

d'une dame de charité, ce médecin avait décidé que la malade serait immédiatement transportée à cet hospice pour y subir l'amputation du membre, comme la seule ressource que l'art semblait pouvoir offrir à cette infortunée.

A ma première visite dans son domicile, je conçus en effet très-peu d'espérance de l'emploi du moxa, de l'usage duquel je voulus cependant faire l'essai avant de prononcer sur la nécessité de l'amputation. Une dame charitable voulut bien se charger de la loger plus commodément et pourvoir à son alimentation; de mon côté, je résolus de lui administrer, avec tout le zèle dont j'étais capable, les secours de mon art.

Je commençai mon traitement par l'application de plusieurs séries de ventouses mouchetées, que je posai sur la cuisse et sur la périphérie de l'articulation ; à ce moyen je fis succéder l'application de bandelettes de stirax pur, à l'aide desquelles j'exerçai une compression uniforme en ramenant la jambe graduellement à son plus haut degré d'extension; après avoir rétabli ce membre dans sa rectitude parfaite, il y fut maintenu avec l'un des appareils inamovibles employés pour les fractures des jambes. Les saignées locales révulsives faites avec la ventouse furent répétées plusieurs fois, et on leur faisait toujours succéder de légers toniques et la compression méthodique. Je passai ensuite à l'application du moxa : les deux premiers furent très-douloureux, mais, à la grande satisfaction des assistants, ils produisirent une diminution sensible dans les principaux symptômes de la maladie ; les douleurs se calmèrent, le gonflement diminua sensiblement, et il fut facile de conserver la rectitude de la jambe.

Cette première nuance d'amélioration encouragea la malade, et me fit espérer de pouvoir obtenir une résolution complète en insistant tout le temps nécessaire sur l'emploi de cette cautérisation (le moxa) ; aussi nous lui continuâmes nos soins avec persévérance pendant l'espace de quinze ou seize mois.

Un travail de soudure s'est opéré graduellement entre les condyles du

ses principaux effets sur un appareil glandulaire (1), mais

---

femur et ceux du tibia, lequel n'a pu s'établir que lorsque les cartilages semilunaires et ceux qui revêtent les surfaces articulaires de ces os et de la rotule furent entièrement dissous ou détruits; des vaisseaux de la propre substance de ces trois os se sont développés et anastomosés entre eux, ce qui produit la soudure dont nous avons parlé dans nos Mémoires. Il arrive encore quelquefois, chez les jeunes sujets, que les vaisseaux des ligaments latéraux de l'articulation s'ossifient et concourent à la formation de cette soudure; elle est tellement parfaite chez cette dame maintenant, que la cuisse et la jambe ne paraissent être formées que d'un seul os; aussi marche-t-elle sans aucun appui : il existe seulement une legere déviation de la jambe en dehors, résultat de l'usure inégale des condyles.

Cette jambe offre maintenant un raccourcissement de trois centimètres ou environ, qui annonce une perte de substance dans les pièces articulaires, proportionnée à l'étendue de ce raccourcissement. On comprend aisément à l'avance que, pour combattre la cause morbifique spontanée qui etait évidemment strumeuse chez cette femme, nous avons employé à l'intérieur et à l'extérieur le mercure sous différentes formes.

Aujourd'hui, mois d'août 1841, la santé générale de cette dame est parfaite, et le jeu de toutes ses fonctions complétement rétabli. Je pourrais ajouter à cette observation, celle d'une autre femme, madame Breau, épouse du proviseur de l'école normale primaire de Melun, affectée, comme la première, de tumeur blanche au genou droit, avec carie aux os de l'articulation; cette dame a été conduite à la guérison, mais avec ankylose du membre, comme la dame Mallet, et elle jouit maintenant d'une parfaite santé.

1) On doit considérer les engorgements des mamelles chez les femmes comme une affection du même genre; nous pouvons assurer du moins qu'on guérit ces engorgements ou qu'on en obtient la résolution complète, surtout lorsqu'il n'y a pas dégénérescence cancéreuse, par la même thérapeutique, c'est-à-dire par l'application des ventouses mouchetées sur les parties engorgées de ces glandes lactifères, et par les frictions mercurielles

les régions du corps où cette maladie s'établit et se développe le plus ordinairement sont les régions latérales et antérieures du cou, occupées par les ganglions lymphatiques. Nous avons eu l'occasion de traiter ces engorgements lymphatiques cervicaux avec un grand succès, et nous en avons offert un exemple extraordinaire, rapporté dans le deuxième volume du même ouvrage. Dans ce cas singulier, la glande maxillaire a été extirpée avec la masse glanduleuse qui formait la tumeur, représentée dans l'un des dessins qui accompagnent l'observation qui a fourni cet exemple.

Il est vrai qu'ici la maladie était arrivée à un tel degré de gravité, et le sujet de cette observation était dans un danger si imminent, qu'une opération chirurgicale pouvait seule le sauver.

L'opération, sans doute, est un des grands moyens curatifs; mais il faut n'y recourir, autant que l'état du malade le permet, que lorsqu'on a employé le mode de traitement que je vais indiquer.

Nous supposerons donc que le principe scrofuleux s'est particulièrement fixé sur l'appareil glandulaire des régions cervicales, où il a produit une tuméfaction plus ou moins considérable; nous supposerons encore qu'il n'existe pas de dégénérescence cancéreuse, ni un danger imminent pour la vie du sujet; car, dans cette dernière supposition, nous

---

intercalées avec les ventouses. Je pourrais rapporter un grand nombre d'exemples de succès remarquables obtenus, même dans des cas très-graves, par cette thérapeutique, suivie avec attention, persévérance et le laps de temps nécessaire. (Voyez, à ce sujet, le deuxième volume de ma *Clinique chirurgicale*, pag. 99 et suivantes.)

avons indiqué et mis en pratique les moyens énergiques qui pouvaient seuls sauver le sujet et le conduire à la guérison.

Dans le premier cas, les glandes lymphatiques ou conglobées et conglomérées, par exemple, étant dans un état de tuméfaction ou d'engorgement considérable, un des moyens les plus puissants pour en obtenir la résolution est la ventouse scarifiée posée, comme nous l'avons dit, sur la tumeur même, déjà préconisée par quelques grands chirurgiens des XVII^e^ et XVIII^e^ siècles. Le célèbre Louis, surtout, secrétaire perpétuel de l'Académie de chirurgie, a fait le plus grand éloge de cette saignée révulsive. En effet, si l'on considère le mode d'action de la ventouse, on se convaincra facilement qu'elle doit amener, par son application réitérée sur les tumeurs glanduleuses indolentes, une résolution proportionnée. Le vide qu'on obtient d'abord par la combustion du chanvre dans la cucurbite (méthode que nous avons exclusivement adoptée), détermine à l'instant l'injection excentrique des fluides, leur fait perdre cette viscosité particulière qui en suspend le cours, engorge les tissus et produit ces tumeurs ; enfin, ces fluides passent dans les vaisseaux capillaires du cutis par l'effet de la capillarité attractive. La masse du calorique, communiquée par la combustion du chanvre, en pénétrant dans ces tissus, raréfie ces fluides et concourt ainsi à cette résolution. L'injection de ces vaisseaux capillaires étant produite, on coupe avec le scarificateur que nous avons imaginé l'épiderme qui les recouvre et on réapplique la cucurbite. Les fluides élastiques, séreux et sanguins contenus dans ces vaisseaux surgissent en quantité et de proche en proche, par l'effet de l'attraction et de la capillarité; la tumeur tout entière se dégorge, ou sa résolution

s'opère graduellement, et quelquefois si rapidement, que la réduction en est sensible à l'œil du vulgaire; ensuite, on seconde l'effet de cette saignée révulsive à l'aide d'une compression graduée uniforme et de frictions qu'on fait sur les tumeurs avec l'onguent napolitain double, préparé par pure extinction, à quatre ou cinq jours d'intervalle et à la dose de deux à quatre grammes. Le cautère actuel et même le moxa, qu'on applique alternativement avec les ventouses, concourent puissamment à cette résolution. Nous y joignons aussi l'usage intérieur d'un sirop sudorifique (avec addition de deux décigrammes de deutochlorure de mercure, d'hydrochlorate d'ammoniaque et d'extrait gommeux d'opium pour cinq cents grammes de sirop à prendre par cuillerées dans une infusion amère). Lorsque dans ces tumeurs lymphatiques il se forme des abcès, il faut en faire l'ouverture avec de la potasse caustique, préparée à l'alcool, quand la fluctuation en est manifeste: tous les abcès froids ou sympathiques doivent être ouverts de la même manière.

On répète périodiquement l'application de ces topiques révulsifs, et avec les mêmes précautions.

A l'aide d'une telle médication, modifiée ou variée selon les circonstances, nous sommes parvenu à guérir un grand nombre de jeunes individus des deux sexes, attaqués à des degrés plus ou moins avancés de tumeurs scrofuleuses ayant leur siége dans les ganglions lymphatiques du cou et d'autres régions du corps.

Nous nous bornerons aujourd'hui à rapporter l'exemple de l'une des plus remarquables de ces cures. Le sujet est une demoiselle de dix-neuf ans, Virginie B***. Cette demoiselle, d'une idiosyncrasie strumeuse très-caractérisée, fut atteinte,

à l'âge de treize à quatorze ans, d'une tumeur lacrymale à l'œil gauche, et d'un engorgement qui s'était développé tout à coup dans les glandes lymphatiques de toute la région antérieure du cou et principalement du côté gauche, de manière à remplir toute la gouttière cervicale, depuis la clavicule jusqu'au devant de la mâchoire, s'étendant en arrière et en avant de l'oreille, dont le conduit auditif était presque oblitéré; il se manifestait de plus une tuméfaction considérable dans le bas-ventre, produite sans doute par l'engorgement des glandes du mésentère. Cette demoiselle offrait encore, lorsque nous l'avons vue à notre première visite, une bouffissure aux pieds et aux mains, constamment froids et de couleur violacée; l'épine dorsale éprouvait déjà un commencement d'incurvation; les fonctions respiratoires se faisaient difficilement, et la circulation était considérablement ralentie : on comptait à peine cinquante pulsations par minute. A cette époque, M. le professeur M*** fut appelé près de cette jeune personne pour traiter cette double maladie. Ce médecin, sans s'occuper de la fistule lacrymale, entreprit le traitement de la maladie scrofuleuse comme la plus grave, et il prescrivit, selon l'usage alors généralement reçu, l'iode pris à l'intérieur sous différentes formes, et appliqué sur l'appareil glanduleux malade sous celle de pommade. Après avoir subi, sans aucun succès, ce traitement pendant l'espace de deux années, les tumeurs, au contraire, ayant augmenté, et la fistule lacrymale s'étant aggravée, on appela un nouveau médecin, M. le professeur R***, lequel ne s'occupa à son tour que de la fistule, comme l'objet principal de sa sollicitude; aussi il pratiqua immédiatement l'opération qu'il crut la plus propre à la guérison de cette maladie. Ce fut celle

de J. Louis Petit, c'est-à-dire le passage d'un séton dans le canal nasal, par une incision qu'il fit au sac lacrymal. Les pansements qui devaient suivre cette opération furent continués pendant plusieurs mois; mais enfin le chirurgien-opérateur s'étant absenté, et le chirurgien-élève, chargé de continuer à ladite demoiselle les soins indiqués, ayant laissé rompre le cordonnet du fil ou le séton qu'on faisait journellement promener dans cette voie lacrymale, il ne fut plus possible de le repasser dans cette même voie, et la malade fut abandonnée aux seules ressources de la nature, qui la servit au delà de ses espérances, et de celles du médecin. Il s'établit à demeure, au point déclive du sac lacrymal, un petit ulcère fistuleux par lequel les larmes s'échappaient périodiquement, sans peine ou sans incommoder la jeune personne, et sans laisser de traces visibles de cette fistule à l'extérieur. C'est cette espèce de cure que j'ai obtenue avec intention chez plusieurs personnes dont le conduit nasal était oblitéré complétement et sans possibilité de le rétablir (1). La guérison de cette maladie, quoique imparfaite, porta la malade et les parents à remercier le chirurgien qui avait fait l'opération, et à appeler un autre médecin pour traiter la maladie scrofuleuse, qui avait fait encore de nouveaux progrès.

Ce médecin, d'origine suisse, employa, à l'intérieur et à l'extérieur, pendant des années, un grand nombre de remèdes de la nature desquels on n'a pu me rendre compte. Enfin la maladie s'étant aggravée, et les parents ayant reconnu un

(1) Voyez l'article Maladie des yeux, aux tomes I^er^ et V de ma *Clinique chirurgicale.*

danger imminent, convoquèrent une consultation, composée du médecin traitant, de M. le docteur Biet et de moi. Cette consultation eut lieu au mois de mars 1838. A cette époque, l'engorgement des glandes lymphatiques jugulaires et cervicales était si exubérant au côté gauche du cou, que, comme nous l'avons déjà dit, il remplissait tout le vide qui se trouve entre la clavicule et la mâchoire, en débordant celle-ci à plus de cinq centimètres, de manière à produire une exubérance qui s'étendait vers la région temporale au devant de l'arcade zigomatique, et formait une saillie proportionnée dans la cavité de la bouche de ce côté; tout annonçait que la glande parotide participait à cette tumeur, laquelle présentait la forme et la grosseur d'un petit melon; elle était bosselée, et à l'une de ses bosselures existait un point de fluctuation sensible. La malade éprouvait des douleurs lancinantes au fond de cette tumeur; la parole et la mastication étaient considérablement gênées. Le pronostic qu'on porta dans cette consultation était très-fâcheux.

M. Biet, dont l'expérience était consommée, considérait cette maladie comme incurable, et selon ce médecin, elle ne pouvait avoir qu'une terminaison funeste; il étayait son opinion sur ce que des médecins habiles avaient vainement employé, pendant longues années, tous les remèdes propres à en opérer la résolution, et que l'extirpation qu'on pourrait entreprendre, quelque habile que fût la main du chirurgien qui la pratiquerait, ne pouvait avoir qu'un résultat dangereux: car, à raison de la profondeur des racines de cette tumeur, prenant naissance, sans doute, sur le trajet de l'artère carotide primitive et sur les troncs des cordons nerveux cervicaux, on aurait exposé cette jeune personne à

périr dans l'opération, ou à une reproduction cancéreuse qui aurait été inévitablement mortelle, bien que j'eusse un exemple de succès dans un cas semblable, avec la seule différence que, chez le sujet de mon observation, la tumeur comprimant déjà fortement l'œsophage et le larynx de manière à le menacer d'une suffocation incessante, on ne pouvait ajourner l'opération, qui fut pratiquée immédiatement, tandis que chez la jeune personne, c'est vers l'angle de la mâchoire et à la région parotidienne que la tumeur s'était principalement développée. Malgré le pronostic grave de mes deux confrères, je conçus quelque espérance, d'après le motif que je viens d'exposer, de pouvoir obtenir des résultats satisfaisants par les moyens que je me proposais de mettre en usage.

En conséquence, je cédai aux instances réitérées des parents et de la malade pour entreprendre le traitement. Je fis supprimer d'abord l'emploi des pilules fondantes de différentes espèces qu'elle prenait journellement, et je commençai ce traitement par une forte saignée à la jugulaire droite, afin de dissiper une congestion sanguine qui me parut exister dans l'encéphale; car la tumeur comprimait évidemment les vaisseaux jugulaires de son côté, et s'opposait au dégorgement des sinus de la dure-mère. En effet, cette saignée, qui me fournit au moins trois cent cinquante grammes de sang, procura un soulagement marqué à la malade. Ensuite, nous passâmes à l'application des ventouses mouchetées, que je posai sur les tumeurs claviculaires et sur celles qui remplissent toute l'échancrure cervicale. Ces premières ventouses, qui furent un peu douloureuses, produisirent une diminution sensible qui encouragea beaucoup la malade et les parents.

A ces saignées locales révulsives je faisais succéder, et à deux ou trois jours d'intervalle, une friction depuis deux grammes jusqu'à quatre d'onguent napolitain double, suivie elle-même d'une compression méthodique et graduée que je pratiquais sur toutes les parties tuméfiées. Après une dizaine de frictions et un égal nombre de séries de ventouses, nous vîmes que ces tumeurs avaient sensiblement diminué de volume et de densité.

Ce changement favorable augmenta mes espérances et encouragea la malade; aussi je continuai ce traitement sans interruption jusqu'au mois de mars 1841. Pendant la deuxième période de cette médication et lorsque la tumeur fut réduite de la moitié de son volume primitif, c'est-à-dire vers la fin de l'année 1839, M. le docteur Récamier fut appelé en consultation près de cette malade. Cet honorable et savant confrère, frappé de l'efficacité remarquable de ces topiques révulsifs, surtout des ventouses que j'appliquai à plusieurs reprises sous ses yeux, engagea les parents et la malade à me laisser continuer ce traitement jusqu'à ce que tous les corps glanduleux qui existaient encore fussent entièrement fondus; pensant bien avec moi que la portion fluctuante formant une espèce de kyste situé dans la région parotidienne, ne pourrait jamais se résoudre, qu'il faudrait nécessairement en faire l'extirpation lorsque tous les corps glanduleux lymphatiques seraient entièrement dissipés, et que, malgré la longueur du traitement, bien loin de l'interrompre, il fallait, au contraire, persévérer dans l'usage des moyens employés avec tant de succès. Cent cinquante ventouses mouchetées et plus de deux cents frictions mercurielles avaient été faites à l'époque que nous

avons désignée plus haut, c'est-à-dire le 1^er^ mars 1841. Il ne restait plus alors que la tumeur parotidienne, de la forme et de la grosseur d'un gros œuf de poule, située profondément entre l'oreille et le bord postérieur de la branche de la mâchoire; on remarquait un point légèrement fluctuant dans son centre; elle était dure et résistante dans son pourtour, et offrait une très-légère mobilité. Le mal réduit à ce dernier degré d'expression, je provoquai une dernière consultation, composée du même médecin M. Récamier, et de mon fils, professeur à l'hôpital militaire de perfectionnement. Il fut décidé dans cette consultation que, ce dernier corps glanduleux présentant tous les signes d'une dégénérescence cancéreuse, qui, loin de se résoudre, pourrait faire explosion d'un moment à l'autre et produire un ulcère cancéreux très-grave, il était indispensable d'en faire l'extirpation le plus promptement possible; en conséquence, je disposai la malade à subir cette opération, que j'annonçai à l'avance devoir être très-délicate et un peu laborieuse, ayant l'intime conviction que cette dernière tumeur avait réellement son siége dans la propre substance de la glande parotide. Aussi toutes mes précautions furent prises pour pratiquer cette extirpation avec toute la facilité possible, et remédier successivement aux accidents qui pourraient survenir pendant et après l'opération.

Le 19 du même mois de mars fut choisi pour son exécution; j'étais assisté de mon fils et de l'un des élèves internes des hospices de Paris, M. Faureytier.

L'appareil des instruments pour l'opération et celui nécessaire au pansement de la plaie étant préparés, le cautère actuel compris, je fis coucher la malade sur un lit étroit, la tête placée sur un petit oreiller de crin assez solide.

La portion du tégument qui recouvrait la tumeur ne lui étant pas adhérente, il me fut facile d'y faire un pli transversal que je coupai dans toute son épaisseur par un seul coup de bistouri. L'incision fut étendue en haut et en bas sur toute la surface de la glande ; une deuxième incision transversale fut faite pour la mettre à découvert ; saisie ensuite avec une double érigne, je procédai à sa dissection, qui fut difficile et douloureuse ; car il fallait non-seulement couper les adhérences fibreuses qui l'arrêtaient aux parties ambiantes, mais encore les filets nerveux fournis par la septième paire ou le nerf facial. Plusieurs branches de l'artère carotide externe furent ouvertes ; on en bouchait les orifices au fur et à mesure pour arrêter l'hémorragie ; enfin, je parvins à l'extirpation totale de ce corps glanduleux, moins un très-petit lobule séparé que je laissai derrière l'oreille, et qui me parut être adhérent à la paroi postérieure du conduit auditif qu'il aurait fallu entamer si j'en avais fait l'extirpation. Mais à peine avais-je détaché le corps principal de cette glande, que nous avons eu un jet de sang considérable, fourni par le tronc de l'artère carotide externe au point où elle produit la temporale profonde et les massetérines : ce ne fut pas sans peine que je parvins à en faire la ligature. L'hémorragie fut assez forte pour jeter la ma ade dans un état de syncope. Cette indication urgente remplie, je m'empressai de mettre quelques bourdonnets de charpie saupoudrés de colophane dans l'excavation profonde qui était résultée de cette extirpation, laquelle avait mis à découvert le bord postérieur de la branche de la mâchoire et le muscle masseter, dont une portion fut entamée ; le conduit auditif avait été aussi entièrement dénudé. Un appa-

reil contentif et légèrement serré termina le pansement.

Nous remîmes la malade dans son lit; on lui fit avaler quelques cuillerées de bon vin sucré; je lui prescrivis un régime rafraîchissant mucilagineux et une potion calmante antispasmodique pour la nuit. A des frissons irréguliers et à de légères douleurs de spasme local succédèrent le calme et la chaleur, et la malade passa les premières vingt-quatre heures dans un état satisfaisant : la sensibilité et les mouvements de tout le côté gauche du visage furent abolis, et ce ne fut pas sans peine qu'il lui fut possible d'avaler de très-petites quantités de liquides à la fois pendant les premiers jours.

Un suintement séreux sanguinolent avait dès le lendemain mouillé l'appareil; cependant je le respectai jusqu'au neuvième jour : nous changeâmes seulement les compresses superficielles, le sixième et le septième jour. Mais un phénomène assez remarquable s'est offert du cinquième au sixième jour; c'est un rire sardonique intermittent qu'on ne put apaiser par aucun moyen, et qui s'est soutenu jusqu'à la chute de la principale ligature, laquelle ne s'effectua que le treizième jour. Il est probable que j'avais compris dans cette ligature quelques-uns des rameaux des premières paires cervicales qui s'anastomosent avec ceux du nerf facial sur le trajet du tronc de l'artère carotide externe, lesquels concourent à produire le nerf diaphragmatique : en effet, ce phénomène disparut le même jour de la chute de cette ligature; la plaie se détergea ensuite promptement, et la cicatrisation commença dès le dix-neuvième jour. Mais lorsqu'elle fut prête à se terminer il se manifesta une fusée de sérosité ou de liqueur salivaire prenant naissance derrière l'oreille, et j'avais lieu de croire

que c'était le petit lobule glanduleux que j'y avais laissé qui produisait cette sécrétion.

J'exerçai une compression uniforme sur le trajet de ce conduit salivaire, et pendant plusieurs jours, ce qui en amena l'oblitération complète; enfin, la plaie fut entièrement cicatrisée le trente-et-unième jour de l'opération.

La cicatrice, de forme cruciale linéaire, est déprimée ou enfoncée au-devant de l'oreille.

La sensibilité s'est rétablie dans toute la joue; les muscles orbiculaires des paupières de l'œil gauche, le zigomatique et le buccinateur, qui avaient d'abord totalement perdu leurs mouvements, commencent aujourd'hui, soixante-dixième jour (fin de juin), à se contracter de nouveau, et nous avons lieu d'espérer que leur action se rétablira complétement par la suite. Plusieurs petits moxas ont été posés derrière l'oreille sur le trajet du tronc du nerf facial, pour exciter l'innervation des rameaux qui sont au-devant de la cicatrice.

D'ailleurs la santé générale de cette demoiselle s'est complétement rétablie, et l'on peut dire qu'elle est florissante.

D'après ces deux exemples d'un succès complet obtenu de l'extirpation des deux glandes salivaires, la parotide et la sous-maxillaire (1), on peut conclure que cette extirpation est praticable et peut se faire sans danger pour la vie des opérés. Mais dans ces opérations, qui sont toujours difficiles

1) L'extirpation de cette dernière glande a été déjà citée, comme appartenant à l'observation insérée dans ma *Clinique chirurgicale*, tome III, page 91 et suivantes. Plusieurs autres exemples de l'extirpation de ces deux glandes salivaires, pratiquée avec succès, sont rapportés dans les auteurs. Voyez surtout la Thèse du docteur Bérard jeune.

et délicates, il importe d'être éclairé par le flambeau de l'anatomie.

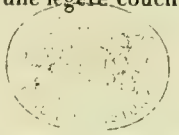
Je joins à ce Mémoire la description de la glande parotide extirpée (1), et le dessin de cette pièce pathologique.

---

(1) *Examen de la glande extirpée.* — Elle présente la forme et la grosseur d'un gros œuf de poule, un peu aplati transversalement; elle a environ cinq centimètres dans sa longueur, quatre dans son diamètre transversal et trois dans son épaisseur. Elle est irrégulière et bosselée à sa surface, recouverte d'une sorte de coque ou de tunique fibreuse très-serrée. Une incision que nous avons faite au centre de sa face extérieure, et au point où l'on avait senti une certaine fluctuation avant l'opération, nous a fait voir que cette glande était composée à l'intérieur d'une substance dense, lardacée et jaunâtre.

A l'instant de l'incision, il nous a paru s'échapper par cette solution de continuité quelques bulles de fluide élastique, au lieu d'une matière ichoreuse ou purulente, comme nous nous y attendions.

On aperçoit l'orifice du canal de Stenon à son bord facial, et l'on aperçoit encore une portion du tube de l'artère carotide externe à sa face postérieure ou interne; il y a aussi une légère couche du muscle masseter.



FIN DU TOME DIX-HUITIÈME.

LIBRAIRIE DE GAUTHIER-VILLARS

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER

QUAI DES AUGUSTINS, 55, A PARIS

INSTITUT DE FRANCE. — Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences. Ces Comptes rendus paraissent régulièrement tous les dimanches, en un cahier de 32 à 40 pages, quelquefois de 80 à 120. L'abonnement est annuel, et part du 1er janvier.

Prix de *l'abonnement franco* :

Pour Paris . . . . . 20 fr. || Pour les départements . . 30 fr.
Pour l'Union postale . . . . . 34 fr.

La collection complète, de 1835 à 1877, forme 85 volumes in-4. . . . . 637 fr. 50 c.
Chaque année se vend séparément. . . . . 15 fr.

— **Table générale des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences**, par ordre de matières et par ordre alphabétique de noms d'auteurs.

Tables des tomes I à XXXI (1835-1850). In-4, 1853. . . . . 15 fr.
Tables des tomes XXXII à LXI (1851-1865). In-4, 1870 . . . . . 15 fr.

— **Supplément aux Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences.**

Tomes I et II, 1856 et 1861, séparément. . . . . 15 fr.

INSTITUT DE FRANCE. — Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences, et imprimés par son ordre. 2e série. In-4; tomes I à XXV, 1827-1877.

Chaque volume se vend séparément . . . . . 15 fr.

— **Mémoires de l'Académie des Sciences.** In-4; tomes I à XL, 1816-1877.

Chaque volume se vend séparément . . . . . 15 fr.

La librairie Gauthier-Villars, qui depuis le 1er janvier 1877 a seule le dépôt des Mémoires *publiés par l'Académie des Sciences, envoie franco sur demande la Table générale des matières contenues dans ces* Mémoires.

INSTITUT DE FRANCE. — Recueil de Mémoires, Rapports et Documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil.

Ire Partie. *Procès-verbaux des séances tenues par la Commission.* In-4; 1877. . . . 12 fr. 50 c.
IIe Partie, avec Supplément. — *Mémoires.* In-4, avec 7 pl., dont 3 en chromolithographie; 1876. . . . . 12 fr. 50 c.

INSTITUT DE FRANCE. — Mémoires relatifs à la nouvelle Maladie de la Vigne, présentés par divers savants.

I. — DUCLAUX, Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Lyon, *délégué de l'Académie.* — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne dans le sud-est de la France.** In-4, avec 8 planches représentant, teintes en rouge, les portions du territoire où le Phylloxera a été reconnu à la fin de chacune des années 1863 à 1872; 1874. . . . . (*Épuisé.*)

II. — CORNU (Maxime), aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle, *délégué de l'Académie.* — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne.** In-4, avec 3 planches en couleur, gravées sur acier, représentant les galles produites par le Phylloxera sur les feuilles des vignes américaines, les altérations des racines par le Phylloxera et des coupes de racines en un point sain et sur un renflement; 1874. . . . . 2 fr. 50 c.

III. — FAUCON (Louis). — **Mémoire sur la Maladie de la Vigne et sur son traitement par le procédé de la submersion.** In-4; 1874 . . . . . 2 fr. 50 c.

IV. — BALBIANI. — **Mémoire sur la reproduction du Phylloxera du chêne.** In-4; 1874 . . . 1 fr.

V. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Mémoire sur les moyens de combattre l'invasion du Phylloxera.** In-4; 1874 . . . . . 1 fr.

VI. — BOULEY, Membre de l'Institut. — **Rapport sur les mesures administratives à prendre pour préserver les territoires menacés par le Phylloxera.** In-4; 1874 . . . . . 75 c.

VII. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Communication relative à la destruction du Phylloxera**; suivie de : **Nouvelles expériences effectuées avec les sulfocarbonates alcalins; manière de les employer**, par M. Mouillefert, *délégué de l'Académie*; et de **Recherches sur l'action du coaltar dans le traitement des Vignes phylloxérées**, par M. Balbiani, *délégué de l'Académie.* In-4; 1874 . . . . . 75 c.

VIII. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Rapport sur les études relatives au Phylloxera**, présentés à l'Académie des Sciences par MM. Duclaux, Max, Cornu et L. Faucon. In-4; 1874. . . . . 75 c.

IX. — DUCLAUX, Professeur à la faculté des Sciences de Lyon. — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne dans le sud-est de la France.** In-4, avec une planche représentant, coloriés en rouge, les pays vignobles atteints par le Phylloxera en 1873. . . . . 75 c.

X. — COMMISSION DU PHYLLOXERA (Séance du 3 décembre 1874). — **Observations** faites par MM. Balbiani, Cornu, Girard, Mouillefert. — **Analyses chimiques** des diverses parties de la vigne saine et de la vigne phylloxérée, par M. Boutin. — **Sur les vignes américaines** qui résistent au Phylloxera, par M. Millardet. — **Vins faits avec les cépages américains**, par M. Pasteur. — **Traitement par le goudron de houille**, par M. Rommier. — **Sulfocarbonates**, par M. Dumas. In-4; 1875. . 2 fr.

XI. — COMITÉ DE COGNAC (Station viticole. Séance du 21 mars 1875). Expose des expériences faites à Cognac et des résultats obtenus par M. Max. Cornu et M. Mouillefert. In-4; 1875. 1 fr.

XII. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Note sur la composition et les propriétés physiologiques des produits du goudron de houille.** In-4; 1875. . . . . 50 c.

XIII. — DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon. — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne dans le sud-est de la France.** In-4, avec une planche représentant, coloriés en rouge, les pays vignobles atteints par le Phylloxera en 1874. . . . . 75 c.

XIV. — BOULEY, Membre de l'Institut. — **Rapport** sur les réclamations dont a été l'objet le décret relatif à l'importation en Algérie des plants d'arbres fruitiers ou forestiers venant de France. In-4; 1875. . . . . 75 c.

XV. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, et Max. CORNU. — **Instruction pratique sur les moyens à employer pour combattre le Phylloxera, et spécialement pendant l'hiver.** In-4; 1876. . . . . 75 c.

XVI. — MILLARDET, *Délégué de l'Académie*. — **Études sur les Vignes d'origine américaine qui résistent au Phylloxera.** In-4; 1876. . . . . 2 fr.

XVII. — GIRARD (Maurice), *Délégué de l'Académie*. — **Indications générales sur les vignobles des Charentes**; avec 3 planches représentant, teintes en rouge, les portions du territoire des Charentes où le Phylloxera a été reconnu à la fin de chacune des années 1872, 1873 et 1874. In-4; 1876. 2 fr. 50 c.

XVIII. — CORNU (Maxime) et MOUILLEFERT, *Délégués de l'Académie*. — **Expériences faites à la station viticole de Cognac dans le but de trouver un procédé efficace pour combattre le Phylloxera.** In-4; 1876 . . . . . 5 fr.

XIX. — AZAM, Docteur en Médecine. — **Le Phylloxera dans le département de la Gironde.** In-4, avec une grande planche représentant, au moyen de teintes noires, rouges et bleues, l'état du fléau en 1873 et son développement en 1874 et en 1875; 1876. . . . . 75 c.

XX. — BALBIANI. — **Sur l'éclosion de l'œuf d'hiver du Phylloxera de la Vigne.** In-4; 1876. (*Voir* n° XXIII.)

XXI. — **Extraits des Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences de l'Institut de France.** (Séances des 2 novembre 1875 et 2 juillet 1876). . . . . 1 fr.

Sommaire : Sur la parthénogénèse du Phylloxera comparée à celle des autres Pucerons; par M. Balbiani. — Résultats obtenus, au moyen du sulfocarbonate de potassium, sur les vignes phylloxérées de Mézel, par M. Aubergier. — Observations sur la lettre de M. Aubergier; par M. Dumas. — Sur le mode d'emploi des sulfocarbonates, par M. J.-B. Jaubert. — Etat actuel des vignes soumises au traitement du sulfocarbonate de potassium depuis l'année dernière; par M. P. Mouillefert. — Résultats obtenus à Cognac avec les sulfocarbonates de sodium et de baryum appliqués aux vignes phylloxérées; par M. P. Mouillefert. — Expériences relatives à la destruction du Phylloxera; par M. Marion.

XXII. — BOUTIN (aîné), *Délégué de l'Académie*. — **Études d'analyses comparatives sur la vigne saine et sur la vigne phylloxérée.** In-4; 1877. . . . . 1 fr.

XXIII. — BALBIANI, Délégué de l'Académie des Sciences, Professeur au Collége de France. — **Mémoires sur le Phylloxera**, présentés à l'Académie des Sciences, en 1876. In-4; 1876. . . . 2 fr.

Sommaire : Sur l'éclosion prochaine des œufs d'hiver du Phylloxera (mars 1876). — Sur l'éclosion de l'œuf d'hiver du Phylloxera (avril 1876). — Sur la parthénogénèse du Phylloxera comparée à celle des autres Pucerons. — Nouvelles observations sur le Phylloxera du chêne comparé au Phylloxera de la vigne. — Remarques au sujet d'une Note récente de M. Lichtenstein sur la reproduction des Phylloxeras. — Recherches sur la structure et sur la vitalité des œufs du Phylloxera.

XXIV. — DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon, délégué de l'Académie. — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne dans le sud-est de la France.** Pays vignobles atteints par le Phylloxera en 1875 et 1876. In-4, avec 2 planches; 1876. . . . . 1 fr. 25 c.

XXV. — COMMISSION DU PHYLLOXERA. — **Avis sur les mesures à prendre pour s'opposer à l'extension des ravages du Phylloxera.** In-4; 1877. . . . . 75 c.

XXVI. — CORNU (Maxime), *Délégué de l'Académie*. — **Études sur le Phylloxera vastatrix.** In-4 de 358 pages, avec 24 planches en couleur. 1878 . . . . . 10 fr.

INSTITUT DE FRANCE. — **Instruction sur les paratonnerres**, adoptée par l'Académie des Sciences (Ire Partie, 1823, par *Gay-Lussac*. — IIe Partie, 1854, par M. *Pouillet*. — IIIe Partie, 1867, par M. *Pouillet*). In-18 jésus, avec 58 figures dans le texte et une planche; 1874. . . . . 2 fr. 50 c.

PRÉFECTURE DE LA SEINE. — **Assainissement de la Seine. Épuration et utilisation des eaux d'égoût**, 4 beaux volumes in-8 jésus; avec 17 pl., dont 10 en chromolithographie; 1876-1877. 26 fr.

PRÉFECTURE DE LA SEINE. — **Assainissement de la Seine. Épuration et utilisation des eaux d'égoût.** — Rapport de la Commission d'études chargée d'étudier les procédés de culture horticole à l'aide des eaux d'égout. In-8 jésus avec pl.; 1878. . . . . 1 fr. 50

RAPPORT DE LA COMMISSION D'ÉTUDES chargée d'étudier l'influence exercée dans la presqu'île de Gennevilliers par l'irrigation en eau d'égoût, sur la valeur vénale et locative des terres de culture. In-8 jésus avec 3 planches en chromolithographie; 1878 . . . . . 3 fr.